

La investigación reportada en esta tesis es parte de los programas de investigación del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California). La investigación fue financiada por el CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías).

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo o titular de los Derechos de Autor.

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Electrónica y Telecomunicaciones
con orientación en Telecomunicaciones**

**Diseño de una interfaz centrada en el usuario para un sistema
de detección de movimientos para apoyo de fisioterapia en
infantes**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Alfredo Ramírez Velasco

Ensenada, Baja California, México
2024

Tesis defendida por
Alfredo Ramírez Velasco

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Salvador Villarreal Reyes

Codirector de tesis

Dr. Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda

Codirector de tesis

Miembros del Comité

Dra. Ana Isabel Martínez García

Dr. Juan Crisóforo Martínez Miranda

Dr. Roberto Conte Galván

M.C. Christian Yair Soto Olivares



Dra. María del Carmen Maya Sánchez

Coordinadora del Posgrado en Electrónica y Telecomunicaciones

Dra. Ana Denise Re Araujo

Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Alfredo Ramírez Velasco** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones con orientación en Telecomunicaciones.

Diseño de una interfaz centrada en el usuario para un sistema de detección de movimientos para apoyo de fisioterapia en infantes

Resumen aprobado por:

Dr. Salvador Villarreal Reyes

Codirector de tesis

Dr. Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda

Codirector de tesis

En México el 5.69 % de la población presenta algún tipo de discapacidad, de estos el 13 % son infantes de 0-13 años. La parálisis cerebral es la causa principal de discapacidad psicomotriz en infantes. La escasez de profesionales y servicios de la salud accesibles le dificulta a este grupo poblacional recibir los cuidados necesarios para mejorar su calidad de vida. La implementación de tecnologías que proporcionen información de la realización correcta/incorrecta de ejercicios de fisioterapia en infantes, es una opción viable para atender esta problemática. El presente trabajo tiene el objetivo de continuar con el desarrollo de un sistema basado en redes de sensores inerciales para la evaluación de movimientos de fisioterapia en infantes, ofreciendo a los padres una herramienta de apoyo cuando se realiza fisioterapia en infantes en casa. Para proporcionar retroalimentación a los padres utilizando una herramienta tecnológica de apoyo, se realizó un trabajo de investigación utilizando técnicas de diseño centrado en el usuario. Este trabajo se basó en 4 etapas iterativas: identificación de necesidades/requerimientos; diseño/rediseño; implementación de una versión interactiva; y evaluación del prototipo. Los resultados permitieron obtener las características para el diseño la interfaz de usuario de una app llamada Sistema de Apoyo de Fisioterapia Infantil SAFI, cuya finalidad es ofrecer retroalimentación respecto a la realización correcta/incorrecta de ejercicios de fisioterapia en infantes. El trabajo se desarrolló y se evaluó en conjunto con padres y profesionales de la salud en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón de Tijuana. Los resultados encontrados destacan la importancia de proporcionar herramientas de apoyo para la realización correcta de ejercicios y el modo de ofrecer retroalimentación respecto a la ejecución de los ejercicios. Se encontró que es prioritario que los padres estén enfocados visualmente en el infante, por lo cual la retroalimentación del sistema no se debe proporcionar únicamente por medios visuales. Esto derivó en desarrollar una propuesta de interfaz que proporciona retroalimentación por medios audiovisuales. De las evaluaciones realizadas se realizaron mejoras y se desarrolló la base de una aplicación móvil acorde y capaz de ofrecer interacción con una interfaz adecuada a las necesidades de los usuarios objetivo.

Palabras clave: Discapacidad infantil, redes de sensores inerciales, diseño centrado en el usuario, interfaz de usuario

Abstract of the thesis presented by **Alfredo Ramírez Velasco** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Electronics and Telecommunications With orientation in Telecommunications.

Design of a user-centered interface for a motion detection system for infant physiotherapy support

Abstract approved by:

Dr. Salvador Villarreal Reyes

Thesis Director

Dr. Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda

Thesis Director

In Mexico, 5.69% of the population has some type of disability, of which 13% are infants from 0-13 years of age. Cerebral palsy is the main cause of psychomotor disability in infants. The scarcity of professionals and accessible health services makes it difficult for this population group to receive the care necessary to improve their quality of life. Implementing technologies that provide information on the correct/incorrect performance of physiotherapy exercises in infants is a viable option to address this problem. The present work has the objective of continuing with the development of a system based on inertial sensor networks for the evaluation of physiotherapy movements in infants, offering parents a support tool when performing physiotherapy in infants at home. To provide feedback to parents using an assistive technology tool, a research work was conducted using user-centered design techniques. This work was developed in 4 iterative stages: identification of needs/requirements; design/redesign; implementation of an interactive version; and evaluation of the prototype. The results allowed obtaining the necessary characteristics to design the user interface for an application called Sistema de Apoyo de Fisioterapia Infantil (SAFI), intended to provide feedback on the correct/incorrect performance of physiotherapy exercises in infants. The work was developed and evaluated in conjunction with parents and health professionals at the Teleton Children's Rehabilitation Center in Tijuana. The results found highlight the importance of providing technological support tools to correctly perform the exercises and how to provide feedback on their execution. It was found that it is a priority for parents to be visually focused on the infant, so the feedback from the system should not be provided solely by visual means. This led to the development of a proposed user interface that provides feedback by visual and auditory means. From the evaluations carried out, improvements were made to the system and the basis of a mobile application was developed that is in line with and capable of providing interaction with an interface appropriate to the needs of the target users.

Keywords: childhood disability, inertial sensor networks, user-centered design, user interface

Dedicatoria

*A mis queridos padres **Sabina Velasco Cruz** e **Isaac Ramírez Hernández** que con su amor y apoyo son el motor que logró impulsar mis sueños hacia las estrellas.*

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)** por brindarme el apoyo económico para poder desarrollar la maestría. No. de CVU: 1134594.

Agradezco al **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)**, al posgrado de **Electrónica y Telecomunicaciones** y en especial al laboratorio de **Investigación Avanzada en Sistemas de Telecomunicaciones (Grupo ARTS)** donde me formé profesionalmente y por hacer de mí una mejor persona. Gracias por el apoyo económico brindado para realizar las visitas al CRIT con el nombre del proyecto interno: F0F171- “Diseño, Desarrollo y Evaluación de Sistemas de Telecomunicaciones para el Internet de las Cosas Médicas”.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis directores de tesis, el **Dr. Salvador Villarreal Reyes** y al **Dr. Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda** por guiarme en el camino del conocimiento y de la vida, por creer en mí y levantarme de los muchos tropiezos que di. Gracias por sus aportaciones, sus comentarios, recomendaciones, consejos de vida y sobre todo gracias por su amistad. Gracias por creer. Familia ARTS.

Agradezco a los miembros del comité: **Dra. Ana Isabel Martínez García**, **Dr. Juan Crisóforo Miranda Martínez**, **Dr. Roberto Conte Galván** y el **M.C. Christian Yair Soto Olivares** por sus acertados comentarios, las aportaciones durante todo el desarrollo de investigación, el tiempo dedicado para poder culminar la investigación. En especial a la Dra. Ana, por su valioso tiempo dedicado a enseñarme nuevos conocimientos de la investigación cualitativa, las facilidades de haber tomado cursos en el Departamento de Ciencias de la Computación y los aportes que contribuyeron de manera significativa en este nuestro trabajo. Al Dr. Juan, por su valioso tiempo dedicado para enseñarme el área de diseño centrado en el usuario, sin duda alguna esto hizo posible el desarrollo de este trabajo, muchas gracias por su dedicación y conocimiento.

Agradezco a mi familia por ser mi base para recargar energías y continuar con la vida, Aurora, Justino, Claudia, Sebastián, Rosalina gracias a ustedes por ser fuente de inspiración para no darme por vencido cuando las cosas se complicaban, “Cuando algo es lo suficientemente importante, lo haces incluso si las probabilidades no están a tu favor”.

Quiero agradecer a los investigadores que conocí en el camino de la ciencia y quienes fueron mis maestros, es especial a la Dra. María del Carmen Maya Sánchez, por siempre buscar el bienestar del posgrado y por ende de los estudiantes.

Agradezco al Centro de Rehabilitación Infantil Teletón, de Tijuana, Baja California, México por permitirme desarrollar la investigación en sus instalaciones. En especial a la Fisioterapeuta Karen Arisbeth Serrano Monroy coordinadora de terapia física quien apoyó en todo momento el desarrollo de las actividades.

Mis amigos del posgrado con quienes compartí los mejores momentos de la maestría, sin duda lo mejor de la maestría son ustedes. Mi hermano del alma Carlos D. Nimo, Napoleón Granados (las risas nunca faltaron), Karla G. Chacón. La familia ARTS: Elvis A. Fernández, Zeydel Arredondo, Maricela Rosales, Eduardo García, Isaac Campos, Miguel Castro, Shiro Tadasuky, Enrique Guerrero, Adrián Neftalí por todo el apoyo brindado en la maestría y sobre todo porque aportaron con su conocimiento al desarrollo de este trabajo, gracias.

Mis amigos de la maestría José L. Mayoral, Jorge A. Montoya, Yesica Cabrerías, Laura Pérez, Miguel Castro y su esposa Erika, Jenny Castro, Camila Castro, Elza Flores, Martha, Daniel, son parte de este logro.

Finalmente quiero agradecer a todas aquellas personas que participaron en las diferentes actividades desarrolladas durante este trabajo de investigación tanto en el CRIT como en el Instituto Nuevo Amanecer A.C. Un especial agradecimiento a la M.C. Cecilia por apoyar con sus contactos y poder realizar las actividades que contribuyeron al trabajo.

“Las tecnologías de la información y las comunicaciones pueden incrementar la capacidad de los servicios de atención de salud, mejorar la prestación de servicios y ayudar a las personas a manejar su propia salud”

Tabla de contenido

Página	
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	x
Lista de tablas.....	xiii
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Pregunta de investigación.....	5
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
1.6 Metodología.....	6
1.7 Organización de la tesis.....	7
Capítulo 2. Sistema de sensores de detección de movimientos corporales para apoyo de fisioterapia en infantes.....	9
2.1 Discapacidad.....	9
2.2 Fisioterapia Infantil.....	10
2.3 Redes de sensores inerciales como herramientas de apoyo en la rehabilitación psicomotriz	10
2.4 Aplicaciones móviles como herramientas de apoyo en la rehabilitación.....	13

Capítulo 3. Estudio contextual.....	16
3.1 Estudio contextual.....	18
3.1.1 Reclutamiento de participantes	19
3.1.2 Recolección de datos.....	20
3.1.2.1 Observación no participativa	20
3.1.2.2 Entrevista semi-estructurada	21
3.2 Análisis de datos.....	23
3.2.1 Teoría fundamentada.....	23
3.3 Resultados del análisis de datos.....	25
3.3.1 Descripción del área de trabajo	25
3.3.2 Descripción de las sesiones	26
3.3.3 Resultados de la entrevista semi-estructurada.....	26
3.3.4 Diagrama de afinidad	31
3.4 Generación de teoría que describe el problema en estudio.....	32
3.5 Resumen del estudio contextual.....	33
Capítulo 4. Diseño, prototipado y evaluación inicial de una interfaz para una aplicación móvil	34
4.1 Introducción	34
4.2 Diseño y prototipado de la interfaz para una aplicación móvil SAFI.....	34
4.3 Desarrollo del grupo focal.....	43
4.3.1 Análisis de datos del grupo focal.....	46
4.3.1.1 Percepción sobre el uso de las tecnologías en la fisioterapia	46
4.3.1.2 Funcionalidades del sistema	46
4.3.1.3 Interacción con el sistema.....	49
4.3.1.4 Tipo de impacto del sistema en la fisioterapia.....	53
4.3.1.5 Modo de retroalimentación	57
4.3.1.6 Resultados del Cuestionario SUS del grupo focal.....	58
4.4 Resumen del grupo focal.....	58
4.5 Sesiones de diseño con expertos en diseño de sistemas centrados en el usuario	59

4.5.1	Propuesta de cambios.....	60
4.6	Implementación de cambios a la interfaz para una aplicación móvil SAFI	61
4.7	Resumen del diseño, prototipado y mejora de la interfaz para una aplicación móvil SAFI y la pre-evaluación inicial	66
Capítulo 5. Evaluación del diseño de la interfaz para la app móvil SAFI en el CRIT-Tijuana		68
5.1	Introducción	68
5.2	Objetivos	68
5.3	Resultados de la evaluación de la interfaz para una aplicación móvil llamada SAFI	69
5.3.1	Percepción sobre el uso de tecnologías en la fisioterapia	69
5.3.2	Funcionalidades del sistema	70
5.3.3	Interacción con la interfaz.....	72
5.3.4	Beneficios del uso del sistema en la fisioterapia.....	74
5.3.5	Modo de retroalimentación	75
5.3.6	Resultados del Cuestionario SUS en la evaluación de la app SAFI realizada en el CRIT....	77
5.4	Discusión de los resultados obtenidos de la evaluación en el CRIT	78
Capítulo 6. Conclusiones		80
6.1	Conclusiones.....	80
6.1.1	Del estudio contextual	80
6.1.2	Del modo de ofrecer retroalimentación	81
6.1.3	Del grupo focal	81
6.1.4	De la evaluación en el CRIT	82
6.2	Aportaciones	82
6.3	Trabajo a futuro	83
Literatura citada		85
Anexos		88

Lista de figuras

Figura	Página
1. Metodología de diseño interactivo utilizada en este trabajo de investigación, tomado de (Preece et al., 2015).	17
2. Modelo de desarrollo de la teoría fundamentada empleada para la identificación de problemas o fenómenos en el área de estudio de interés.	25
3. Generación de categorías y diagramas de afinidad las cuales representan el fenómeno estudiado.....	32
4. Modelo en desarrollo de un sistema basado en redes de sensores inalámbricos y algoritmos de aprendizaje automático.	35
5. Principio de funcionamiento base para el desarrollo de la aplicación móvil, en donde el clasificador IA desarrollado en (Castro P., 2023) será simulado en este trabajo para evaluar la implementación de la interfaz.	36
6. Sistema de apoyo de fisioterapia infantil (SAFI) basado en sensores IMU's y la interacción mediante una interfaz para una aplicación móvil.....	37
7. Diagrama de flujo de la maqueta de la aplicación diseñada en Figma para evaluar la interfaz de retroalimentación utilizando la técnica "Mago de Oz".	38
8. Las pantallas A y B son de inicio de la aplicación SAFI, las pantallas C, D y E son pantallas de encendido de Bluetooth y las pantallas F, G y H son de búsqueda y conexión con el sensor. 39	39
9. Pantalla de menú de la interfaz SAFI para la selección de 3 tipos de ejercicios a realizar.	40
10. Pantalla de la interfaz SAFI en donde se muestra cómo realizar un ejercicio de fisioterapia mediante la visualización de una animación.....	40
11. Pantallas de la interfaz SAFI que muestran un contador regresivo previo a iniciar un set de ejercicios de fisioterapia.	41
12. Pantallas de la interfaz SAFI que muestran el contador de ejercicios que se deben realizar durante una sesión de fisioterapia.....	41
13. Modo de retroalimentación visual de la interfaz SAFI: A y B corresponden al ejercicio realizado de manera correcta, C y D es la representación de ejercicios realizados de manera incorrecta.	42
14. Pantalla de la interfaz SAFI mostrando la clasificación de los ejercicios realizados de manera correcta e incorrecta.	43
15. Clasificación de nivel de satisfacción de uso de la interfaz SAFI, como método de evaluación de usabilidad.	43

16. Maniquí utilizado por los participantes del grupo focal para la realización de ejercicios de fisioterapia.....	45
17. Respuesta de los participantes del grupo focal respecto a la percepción de utilidad del sistema	46
18. Respuesta de los participantes del grupo focal respecto a las funcionalidades presentadas en la interfaz para una aplicación móvil llamada SAFI.....	47
19. Atención ofrecida al infante al momento de realizar un ejercicio utilizando la interfaz para la aplicación SAFI: A representa la retroalimentación audiovisual y B representa la retroalimentación visual.	48
20. Respuesta de los participantes que usaron la interfaz para la aplicación SAFI: A representa a los participantes que proporcionaron sugerencias de nuevas funciones y B representa la clasificación de las funciones.	48
21. Respuesta de los participantes del grupo focal sobre la interacción de la interfaz y el sistema: A representa el porcentaje de los participantes que sugieren realizar cambios en la interfaz para la aplicación y B representa las sugerencias de cambio a implementar.....	50
22. Respuesta de los participantes del grupo focal respecto a la utilidad de la interfaz para la aplicación SAFI en la fisioterapia.....	51
23. Beneficios que los participantes del grupo focal ven en la interfaz para la aplicación SAFI al ser usada como una herramienta de apoyo de fisioterapia.	52
24. Posibles beneficios al utilizar una aplicación móvil como herramienta de apoyo en la fisioterapia.....	54
25. Resultado de los participantes del grupo focal respecto al impacto que podrían surgir con el uso de una aplicación móvil en la fisioterapia.	55
26. Ventajas positivas que encuentran los participantes del grupo focal al tener un sistema que ofrezca retroalimentación por audio.	56
27. Modo en que se debe ofrecer la retroalimentación cuando se realiza una sesión de fisioterapia utilizando una interfaz.....	58
28. Puntaje obtenido del cuestionario SUS al ser aplicado a los participantes del grupo focal.	58
29. Estructura seguida para la sesión con expertos en Diseño de sistemas centrados en el usuario.	59
30. Diagrama de flujo de la segunda versión de la app móvil SAFI implementado para las evaluaciones finales.	61
31. Interfaz de inicio de la segunda versión de la simulación de la app móvil SAFI.	62
32. Tutorial de primeros pasos de uso de la segunda versión de la interfaz de la simulación de la app llamada SAFI donde se indica los pasos a seguir para la utilización adecuada de la aplicación	

junto con los sensores inerciales para la detección de movimiento en la realización de ejercicios de fisioterapia en infantes.....	63
33. Solicitud de permiso para activar la función Bluetooth y búsqueda de los sensores inerciales de la segunda versión de la interfaz de la simulación de la app SAFI.	64
34. Menú principal de la segunda versión de la interfaz SAFI: A se corresponde a la interfaz de los tipos de ejercicios presentados en la aplicación, B y C se corresponden al tutorial sobre cómo realizar la fisioterapia.	65
35. Interfaz de retroalimentación de la segunda versión de la simulación de la aplicación SAFI: A y C indican si el ejercicio se realizó de manera correcta y B es la referencia previa a la clasificación de los movimientos.	65
36. Pantallas de la interfaz que representan la evaluación de satisfacción de uso de la segunda versión de la simulación de la app SAFI.	66
37. Utilidad percibida por parte de los padres utilizando un sistema tecnológico en la fisioterapia.	70
38. Comentarios positivos respecto a la interfaz de la aplicación al ser usado por los padres del CRIT.....	71
39. •Porcentaje de participantes que sugieren vs no sugieren realizar cambios en la interfaz de la aplicación SAFI por parte de los padres del CRIT.	73
40. Similitud de la interfaz de la aplicación SAFI con respecto a las aplicaciones que los participantes usan cotidianamente.....	73
41. Porcentaje de participantes que mencionan posibles consecuencias al utilizar la interfaz de la aplicación SAFI como herramienta de apoyo en la realización de fisioterapia en casa.....	74
42. Modo preferido para obtener retroalimentación a través de la interfaz para la aplicación SAFI respecto a la realización correcta o incorrecta de ejercicios.	75
43. Comentarios respecto al modo de retroalimentación visual de la interfaz para la aplicación SAFI.....	76
44. Tiempo para ofrecer retroalimentación de la interfaz para la aplicación SAFI considerado como más adecuado por los padres del CRIT.	77
45. Evaluación del cuestionario SUS para la interfaz de la aplicación SAFI realizado en el CRIT... 77	

Lista de tablas

Tabla	Página
Tabla 1. Detalles de los participantes de la observación no participativa.	21
Tabla 2. Participantes de la entrevista semi-estructurada.	21
Tabla 3. Número de padres de familia que participaron en el grupo focal.	44
Tabla 4. Escala de usabilidad utilizado para evaluar la interfaz de la app SAFI.	108

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2011 existían más de mil millones de personas (15% de la población a nivel mundial) que vivían con algún tipo de discapacidad¹ (Organización Mundial de la Salud, 2011). De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en México existen 5,577,595 personas con discapacidad (INEGI,2020). Aunado a esto, según la Encuesta Nacional para el Sistema de Cuidados (ENASIC) 2022 del INEGI, en México existe un aproximado de 58.3 millones de personas susceptibles de recibir cuidados en el hogar, cifra que se conforma por personas con discapacidad o dependencia (ENASIC_23,2022). De acuerdo con los datos reportados en la ENASIC del total de las personas con alguna discapacidad o dependencia en México, el 61.5% recibieron cuidados básicos y de ellos solo el 3.3% asistió a un centro de cuidados profesional. Asimismo, el INEGI reporta que el 33.3% de ellos requeriría un apoyo adicional en el hogar para la estimulación física o mental. En general, las personas con discapacidad tienen una atención médica deficiente, una reducida participación económica y en el peor de los escenarios una de los índices más altos de pobreza en comparación con las personas sin discapacidad (ENASIC_23,2022). Parte de las causas de estas deficiencias se debe a que las personas con discapacidad no tienen acceso a servicios de salud, educación, empleo y las tecnologías lo cual representa una desventaja que los puede limitar a llevar una vida digna.

De acuerdo al informe mundial sobre la discapacidad presentado por la OMS y el Grupo del Banco Mundial (Organización Mundial de la Salud, 2011), se proponen medidas dirigidas a los gobiernos y diferentes organizaciones civiles para crear entornos favorables que promuevan una rehabilitación que incluya servicios de apoyo con un enfoque de atención médica en contextos de pocos recursos para facilitar el acceso. Además, se plantea la creación de políticas y programas inclusivos basados en normas y leyes que beneficien a las personas con alguna discapacidad, con el objetivo de ofrecer una vida más digna de acuerdo a los derechos humanos. Siguiendo la línea de promover una vida más digna para las personas con discapacidad, es importante facilitar el acceso a los servicios de rehabilitación psicomotriz. En estas condiciones, la rehabilitación física o motriz permite recuperar movimientos físicos o en su defecto evita

¹ <https://www.inegi.org.mx/app/glosario/default.html?p=cpv2020#letraGloP>

el deterioro psicomotor mediante la repetición de ciertos ejercicios de terapia física. La recuperación del paciente depende directamente de la adherencia al tratamiento, por lo que terapias convencionales provocan desmotivación haciendo que no se cumplan los objetivos (Calderita et al., 2015). Por otra parte, el asistir a centros de rehabilitación para la realización adecuada de la terapia requiere dedicación y esfuerzo tanto para las personas que presentan una discapacidad, como para los centros de rehabilitación en donde deben ser atendidos. Por lo tanto, es necesario implementar medidas que promuevan la accesibilidad y la disponibilidad de servicios tanto en los centros de rehabilitación como en los hogares. Además de la incorporación de herramientas tecnológicas atendiendo las medidas presentadas en el informe mundial de la discapacidad.

Con el objetivo de contribuir en la rehabilitación física desde el ámbito tecnológico, se han desarrollado diferentes sistemas que permiten medir, evaluar, clasificar la postura y el movimiento, estimar el gasto de energía y detectar caídas en una actividad física utilizando sensores de movimientos inerciales, también conocidos como unidad de medición inercial (Inertial Measurement Unit, IMU) (Yang & Hsu, 2010). Un sistema IMU con una batería de larga duración puede ser eficaz para el monitoreo de movimientos corporales en entornos cotidianos al ser portátil, generando información útil que puede ser complementaria para las pruebas médicas (Gu et al., 2023).

Trabajos como en (Tsilomitrou et al., 2021) presentan el desarrollo de los sistemas que eventualmente pudieran servir como herramientas de apoyo para la rehabilitación. Sin embargo, no se considera el modo en cómo se debe ofrecer la retroalimentación en el proceso de la realización de terapia física. En (Schlage et al., 2021) se presenta el desarrollo de un sistema de captura de movimientos corporales usando sensores IMU de bajo costo para poder ser usados para el monitoreo de rehabilitación usando aplicaciones móviles. En (Tedesco et al., 2022) se diseñó una aplicación móvil que en conjunto con de sensores IMU se pretende realizar monitorización remota de pacientes que realizan rehabilitación de rodilla para ser evaluados por los médicos en tiempo real. Además, busca servir como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones y ofrecer una orientación personalizada a los pacientes. Un estudio realizado por (Gu et al., 2023) recopiló y analizó 65 estudios de desarrollos de sistemas IMU enfocados en la rehabilitación en la cual destaca que el 82% de los sistemas está enfocado a evaluar y capacitar la rehabilitación, un 12% solo se enfoca en evaluar y un 6% en solo ofrecer un sistema de capacitación. En (Jiang et al., 2017) desarrollaron un sistema IoT (Internet de las cosas, por sus siglas en inglés) enfocado para adquirir, transmitir y evaluar de manera objetiva ejercicios de las extremidades superiores utilizando sensores corporales, técnicas de inteligencia artificial y una aplicación móvil para eventualmente ofrecer una rehabilitación a distancia en donde el médico de cabecera pueda monitorear al paciente.

Actualmente hasta donde se tiene conocimiento, no se han reportado en la literatura sistemas basados en IMUs que incorporen un esquema de semaforización que permita al usuario corregir movimientos de ejercicios de fisioterapia, especialmente cuando se realiza fisioterapia con infantes que tienen alguna discapacidad. Dicho lo anterior, y continuando con la línea de investigación de (Castro P., 2023; Rosales J., 2021) dentro del grupo ARTS del CICESE, se ha desarrollado un sistema basado en sensores inerciales y haciendo uso de las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Network, WSN) y algoritmos de aprendizaje automático para proporcionar retroalimentación sobre la ejecución correcta o incorrecta de ejercicios de fisioterapia a los padres o cuidadores que realizan terapia con infantes. Se tiene el objetivo en este trabajo de generar los requerimientos necesarios para diseñar e implementar una interfaz que permita ofrecer retroalimentación de los ejercicios que se realicen en la fisioterapia.

1.2 Planteamiento del problema

En México el número de infantes con discapacidad es de 899 mil niñas y niños lo que representa el 13% del grupo poblacional con discapacidad (5.69% de la población total mexicana) (INEGI, 2020). La discapacidad puede presentarse por alguna razón congénita o adquirida generando una o más deficiencias de carácter físico y mental (*Home - The Washington Group on Disability Statistics*, n.d.; *Sistema Nacional de Protección de Niñas, Niños y Adolescentes*, 2018). La parálisis cerebral infantil (PCI) es la causa más frecuente de discapacidad psicomotriz (López de S. M. de Aguirre & Martino-Alba, 2021) causando trastornos en el desarrollo del movimiento y postura corporal, lo cual limita la realización de actividades del infante por sí solo. Es ahí en donde la fisioterapia juega un papel importante en la rehabilitación.

Dada la discapacidad que presentan los infantes, el padre o cuidador debe realizar los ejercicios de fisioterapia con ellos, ya que no pueden realizarlos por sí mismos. Además, es común que se solicite a las familias que realicen ejercicios de fisioterapia en el hogar. Sin embargo, en estas situaciones no estará presente un profesional de la salud para dar una retroalimentación adecuada de los ejercicios realizados, lo cual puede impactar de manera negativa el proceso de fisioterapia. Aunado a esto, factores como la escasez de profesionales de la salud (p. ej. fisioterapeutas), la ubicación geográfica y el nivel socioeconómico de las familias, representa grandes barreras para llevar a cabo de manera adecuada un proceso de rehabilitación de fisioterapia infantil. El contar con herramientas de apoyo en la fisioterapia infantil puede contribuir a mejorar la realización adecuada de los ejercicios en una sesión de fisioterapia. Aunque se ha reportado en la literatura el desarrollo de sistemas utilizando sensores inerciales que evalúan las condiciones de los pacientes p. ej. (Argent et al., 2019; Calderita et al., 2015; Rodríguez

Mariblanca & Cano de la Cuerda, 2021; Schlage et al., 2021; Sprint et al., 2016; Tedesco et al., 2022; Tsilomitrou et al., 2021), con el mejor de nuestro conocimiento, no se ha reportado un sistema basado en redes de sensores inerciales para padres o cuidadores que realizan fisioterapia con infantes que ofrezca la retroalimentación en tiempo cuasi real respecto a los ejercicios realizados, al clasificarlos como correctamente o incorrectamente ejecutados.

Dicho lo anterior, en este trabajo se propone diseñar una interfaz para una aplicación móvil centrada en el usuario para un sistema de detección de movimientos corporales como herramienta de apoyo en la realización de ejercicios en casa de fisioterapia en infantes. El diseño de la interfaz debe proporcionar retroalimentación en tiempo cuasi real a los padres o cuidadores durante la realización de los ejercicios de fisioterapia, indicando si los movimientos se están ejecutando de manera correcta o incorrecta. De esta manera se contribuye al diseño de herramientas tecnológicas aplicadas al proceso de rehabilitación de los infantes con discapacidad psicomotriz.

1.3 Justificación

Los problemas de desarrollo neurocognitivos detectados en infantes, requieren una atención especializada en donde los profesionales de la salud como los fisioterapeutas aplican su conocimiento para atender las limitaciones de los infantes, haciendo que puedan llevar una vida plena (Royo Sanchis, 2021). La terapia física, como un proceso de rehabilitación para infantes que se les ha detectado algún problema o discapacidad de movilidad corporal, es recomendada por especialistas de la salud con el objetivo de restablecer un desarrollo neurocognitivo adecuado. Sin embargo, en muchos casos no es posible asistir a los centros especializados para efectuar dichos ejercicios debido a la ubicación geográfica, problemas económicos, entre otros. Además, debido a la escasez de especialistas de la salud para dar servicios de rehabilitación a infantes, en muchos casos los familiares son encomendados a llevar a cabo estos ejercicios en sus hogares. Por lo tanto, el poder llevar a cabo una rutina de rehabilitación adecuada se vuelve un problema no trivial, en donde muchas veces es factible tener una retroalimentación respecto a la realización correcta o incorrecta de ejercicios para así proveer una rehabilitación efectiva al infante cuando se desarrolla esta actividad en casa.

Dentro del Grupo de investigación **Avanzada en Redes de Telecomunicaciones y Sistemas (ARTS)** del CICESE, dos tesis previas (Castro P., 2023; Rosales J., 2021) han abordado el tema de diseño de un sistema para la clasificación de ejercicios de rehabilitación en infantes. Los resultados de estos trabajos han

permitido el desarrollo de una técnica de segmentación y clasificación basada en aprendizaje máquina enfocada a brindar retroalimentación a los padres o cuidadores respecto a la realización correcta o incorrecta de los ejercicios de fisioterapia. Si bien estos trabajos arrojaron resultados prometedores respecto a la factibilidad de clasificación, en ellos no se abordó el desarrollo de un prototipo de uso avanzado y su posible adopción por parte de los padres o cuidadores de los infantes. Es por ello que, en este trabajo de investigación se centra en el desarrollo de una interfaz para una aplicación móvil que permita ofrecer retroalimentación al usuario respecto a la realización correcta o incorrecta de ejercicios de fisioterapia en infantes. Para ello, es importante realizar un estudio contextual que permita conocer y entender las necesidades y requerimientos reales del público objetivo para el cual va dirigido el sistema y de acuerdo al estudio proponer las características de diseño de una interfaz interactiva apropiada para la retroalimentación utilizando sensores de movimiento corporal.

1.4 Pregunta de investigación

De acuerdo con el planteamiento del problema anterior, se estableció una pregunta de investigación, la cual se tomó como base para desarrollar el trabajo de investigación.

¿Qué características debe tener una interfaz de usuario para un sistema que servirá de apoyo a los terapeutas o facilitadores no expertos que realizan ejercicios de fisioterapia con infantes desde casa?

1.5 Objetivos

Para responder la pregunta de investigación de este trabajo se estableció el siguiente objetivo general.

1.5.1 Objetivo general

Diseñar y evaluar una interfaz centrada en el usuario que sea adecuada para un sistema de clasificación de movimientos destinado a apoyar la realización correcta de ejercicios de fisioterapia en infantes. El diseño buscará generar características adecuadas que proporcionen apoyo a los padres o cuidadores del infante durante sesiones de terapia física realizadas en casa. A partir del objetivo general se establecieron los siguientes objetivos específicos.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Comprender y describir cómo las personas llevan a cabo una sesión de rehabilitación de fisioterapia infantil.
2. Proponer y diseñar una interfaz que permita ofrecer retroalimentación en una sesión de fisioterapia mediante un esquema de semaforización.
3. Evaluar la manera en cómo se debe presentar las funcionalidades del sistema de sensores al momento de ser usado como herramienta de apoyo en la realización de fisioterapia.
4. Evaluar la utilidad de la herramienta como auxiliar en la realización de terapias físicas para los padres de infantes con alguna discapacidad psicomotriz.

1.6 Metodología

Para la realización del presente trabajo de investigación se siguió la metodología descrita a continuación.

1. Estudio introductorio de la discapacidad en México, haciendo énfasis en la discapacidad infantil.

Se estudiarán diferentes fuentes de información relacionadas con la discapacidad en México y los retos que actualmente enfrentan para realizar actividades de fisioterapia.

2. Estudio introductorio de sistemas de sensores inerciales para la detección de movimientos aplicado en la fisioterapia.

Se analizarán los diferentes trabajos encontrados en la literatura en los que se realizan implementaciones y aplicaciones para la detección de movimientos corporales utilizando IMUs.

3. Estudio de diseño de sistemas centrados en el usuario.

Se estudiarán temas relacionados con el diseño de sistemas centrados en el usuario. Con el fin de definir los requerimientos necesarios para el desarrollo de una interfaz de una aplicación móvil que ofrezca retroalimentación sobre los ejercicios de fisioterapia utilizando sensores inerciales.

4. Implementación de un estudio contextual.

Se realizarán estudios de campo para entender cómo los padres de familia realizan las actividades de fisioterapia con sus infantes, con el objetivo de ofrecer una herramienta adecuada a sus necesidades reales.

5. Selección de ejercicios de fisioterapia para ser implementados en la interfaz de usuario.

De acuerdo con la línea de investigación que se sigue, se analizarán los ejercicios de terapia física utilizados en los trabajos de (Castro P., 2023; Rosales J., 2021) para seleccionar los que se utilizarán en el desarrollo de la interfaz.

6. Implementación de un grupo focal e implementación de una interfaz de una aplicación móvil.

En esta etapa, con la colaboración del público objetivo, se generarán las ideas para el diseño de la interfaz de usuario, se desarrollará y evaluará una primera versión del prototipo de media fidelidad que cumpla con los requerimientos identificados según la metodología de diseño de sistemas centrados en el usuario mencionada anteriormente. La interfaz debe ofrecer retroalimentación sobre los ejercicios que el padre realiza con el infante, clasificándolos como correctos o incorrectos utilizando el sistema de sensores inerciales.

7. Validación de los requerimientos definidos para la interfaz de usuario.

El prototipo deberá ser evaluado por el público objetivo al que va dirigido. Las evaluaciones se realizarán en el CRIT de Tijuana, B.C. y serán iterativas. En cada iteración, se implementarán cambios y se generarán reportes que demuestren la factibilidad de las funciones del sistema que se desarrolle.

1.7 Organización de la tesis

Este trabajo de tesis se compone de 7 capítulos, los cuales se describen a continuación. En el capítulo 2, se presenta una introducción sobre la discapacidad infantil en México y cómo el proceso de fisioterapia ha ayudado en la rehabilitación o, en su defecto, a evitar el deterioro del movimiento muscular infantil. Además, se presenta información sobre los principales trabajos de investigación que han implementado

el uso de sensores inerciales para el monitoreo y evaluación de movimientos corporales, tanto para adultos como para infantes.

En el capítulo 3, se presenta una descripción de la metodología de diseño de sistemas centrados en el usuario, así como las definiciones y herramientas utilizadas para el desarrollo del trabajo de investigación. También se describen los principales conceptos empleados en la realización de la investigación.

En el capítulo 4 se describe el proceso de desarrollo de un estudio contextual que ayudó a comprender el fenómeno en estudio. Se detalla el proceso de reclutamiento de personas, la recolección de datos, las técnicas utilizadas para el análisis de datos, los resultados obtenidos y la generación de las características iniciales para diseñar la interfaz de usuario de una aplicación móvil para el sistema de sensores de movimientos corporales.

En el capítulo 5 se presenta la implementación y evaluación inicial de la interfaz para una aplicación móvil mediante el desarrollo de un grupo focal, donde los participantes aportaron ideas, sugerencias y cambios para el sistema propuesto. Se detalla el desarrollo de la actividad, y el análisis de los datos obtenidos. Además, como parte del diseño, se describe la sesión llevada a cabo con expertos en diseño de sistemas centrados en el usuario. Se incluyen los cambios implementados a la interfaz del sistema de sensores de movimientos basados en los datos recopilados.

En el capítulo 6 se presentan los resultados de evaluación de la interfaz realizada en el CRIT de Tijuana, Baja California, México, para validar la interfaz de la aplicación SAFI por parte de los participantes en el uso de sensores inerciales. La interfaz proporciona retroalimentación sobre cómo realizar movimientos de fisioterapia en infantes.

Finalmente, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones finales, las contribuciones generadas en este trabajo de investigación y algunas recomendaciones para futuras investigaciones.

Capítulo 2. Sistema de sensores de detección de movimientos corporales para apoyo de fisioterapia en infantes

2.1 Discapacidad

Una persona con discapacidad se define como aquella que presenta dificultad o no puede realizar alguna actividad por sí misma, considerada básica, como: caminar, ver, escuchar, comunicarse, comer o bañarse (ENASIC_23,2022). Según el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT), la discapacidad se entiende como “una condición de vida que resulta de la interacción de una persona con el entorno y la actitud que le rodea. Esta multiplicidad de factores puede limitar o promover su participación plena y efectiva en todas las actividades de manera digna y en un marco de derechos humanos”.

Según el Informe Mundial sobre la Discapacidad presentado por la OMS, Las personas con discapacidad enfrentan diversas barreras en la sociedad, como políticas y normas insuficientes; actitudes negativas; prestación insuficiente y deficiente de servicios de salud, rehabilitación y apoyos inadecuados y deficientes para satisfacer sus necesidades (Informe Mundial sobre la Discapacidad, 2011). Estas dificultades representan grandes desafíos para las personas con discapacidad, lo cual reduce en gran medida su participación en diferentes ámbitos, en comparación con lo que una persona sin discapacidad puede realizar.

En el ámbito sanitario, las personas con discapacidad experimentan mayor vulnerabilidad a enfermedades que podrían prevenirse. El informe presentado por la OMS se considera que el no tener un servicio de rehabilitación adecuado en donde se tenga el apoyo de dispositivos auxiliares, genera una experiencia negativa en la vida de las personas discapacitadas deteriorando de esta manera su estado de salud tanto físico como mental, lo cual representará a futuro una peor calidad de vida.

En México existen organizaciones como el CRIT o el Instituto Nuevo Amanecer, quienes atienden a personas con discapacidad ofreciendo servicios de rehabilitación para la estimulación física y mental, además de ofrecer otros servicios para la inclusión social. La rehabilitación, como parte del proceso de recuperación de la salud para personas con alguna discapacidad, requiere de profesionales de la salud (Vásquez B. & Cáceres, 2008) como médicos especialistas, fisioterapeutas, terapeutas ocupacionales, psicólogos, ortesistas y protesistas, fonoaudiólogos, kinesiólogos, psicomotricistas, entre otros.

2.2 Fisioterapia Infantil

La terapia de rehabilitación para infantes consiste en la realización de una variedad de ejercicios con el objetivo de disminuir el dolor, incrementar la movilidad y la capacidad psicomotriz, además de prevenir o sanar lesiones de las extremidades. El fisioterapeuta coadyuva en la realización de ejercicios terapéuticos de movimientos, estiramientos, fortalecimiento, relajación muscular o terapia psicomotriz, para promover una óptima función motora de los infantes (Ferre-Fernández et al., 2020). Para determinar y evaluar el grado de movilidad física en infantes, los fisioterapeutas utilizan la escala Gross Motor Function Measure (GMFM) (Rosenbaum et al., 2008), la cual es un instrumento diseñado y validado para medir el cambio en la función motora gruesa para infantes con una edad desde los 5 meses hasta los 16 años de edad. De esta manera, el especialista determina los tipos de ejercicios que deberá realizar, buscando evitar un deterioro en la movilidad corporal.

La parálisis cerebral infantil (PCI) es una de las principales causas de trastornos neuromotores permanentes que se desarrolla durante la gestación o durante los tres primeros años de vida del infante (Día Mundial de la Parálisis Cerebral, 2022; Parálisis cerebral, 2023). De acuerdo con los datos reportados por el INEGI, en México existen alrededor de 770 mil personas diagnosticadas con PCI (INEGI,2020). Esta condición se caracteriza por presentar algunas dificultades para la coordinación de movimientos y posturas corporales; por ejemplo, cuando existe tensión muscular se le denomina espasticidad; cuando se presentan movimientos involuntarios se le denomina atetosis o discinética; cuando hay dificultades de equilibrio y coordinación se le denomina ataxia; y cuando se presentan todas se le denomina parálisis cerebral mixta. En estos casos, la fisioterapia infantil se emplea como un método de rehabilitación para intervenir en las deficiencias motoras, contribuyendo a mantener o devolver un mayor grado de la capacidad funcional. Teniendo en cuenta que la etapa de la infancia es un periodo de desarrollo físico y cognitivo rápido, durante el cual se producen cambios y adaptaciones en el infante, una respuesta rápida ante la detección y tratamiento de problemas neurocognitivos puede influir en el modo de desarrollo de la vida de los infantes (Abrishami et al., 2019) .

2.3 Redes de sensores inerciales como herramientas de apoyo en la rehabilitación psicomotriz

El uso de tecnologías de sistemas integrados que utilizan redes inalámbricas de sensores (Wireless Sensor

Network, WSN) y unidades de medición inercial (IMU), como herramientas para la obtención, monitoreo y evaluación de señales fisiológicas ha cobrado relevancia en los últimos 15 años (Abrishami et al., 2019; Gu et al., 2023; Marín et al., 2020; Yang & Hsu, 2010). Los dispositivos basados en WSNs e IMUs son tecnologías compactas que pueden ser fácilmente colocadas en el cuerpo de infantes. Potencialmente, esto permitiría llevar a cabo una evaluación psicomotriz basada en señales biomecánicas obtenidas por medio de IMUs colocados en las extremidades de los infantes. De este modo, un sistema basado en IMUs y WSNs puede generar información útil tanto para los especialistas de la salud, como a los padres o cuidadores de niños.

En la literatura se reportan diferentes trabajos en donde se hace uso de IMUs para monitorear y evaluar movimientos corporales. Por ejemplo, en (Airaksinen et al., 2020) se desarrolló e implementó un sistema vestible inteligente que integra 4 sensores inalámbricos para la detección de movimientos en infantes. Este trabajo combina técnicas de inteligencia artificial (AI) y la información proporcionada por las IMUs para detectar automáticamente la posición de la extremidad y cuantificar el movimiento de bebés con el fin de descartar algún trastorno del neurodesarrollo.

En (Rihar et al., 2014) se realiza una evaluación biomecánica para registrar y comparar movimientos de bebés sanos respecto a bebés con posibles problemas de desarrollo psicomotriz. Para realizar las pruebas, hacen uso de sensores IMUs que son colocados en el brazo y tronco corporal en donde además se apoyan de colchones de presión para medir los movimientos que realiza un bebé. El método de captura de movimientos corporales en bebés utilizando sensores inerciales se compara con métodos optoelectrónicos complejos como el uso de cámaras que requieren implementar una cama de pruebas especiales para capturar movimientos psicomotrices, lo cual es difícil de realizar en bebés. Los resultados reportados utilizando IMUs proporcionan una mejor precisión obteniendo un error por debajo del 10 % en comparación de herramientas optoelectrónicas, lo cual demuestra que el uso de sensores inerciales es adecuado para capturar movimientos corporales.

El uso de acelerómetros para monitorear aceleración de movimientos en bebés sanos y bebés con posibles riesgos de desarrollo psicomotriz son implementados en (Abrishami et al., 2019; Trujillo-Priego et al., 2017). En este estudio se colocaron IMUs en la pierna a 12 bebés sanos y 24 bebés con posible desarrollo atípico. Se capturaron datos de movimientos de cada bebé en un tiempo promedio de 8-13 horas con una repetición de 3 veces en la toma de datos. El proceso de evaluación se repitió a los 24 meses, lo que proporcionó resultados que muestran prospectivamente las diferencias entre bebés sanos y aquellos bebés con problemas de desarrollo psicomotriz. Sin embargo, debido a la diferencia de edades de los

infantes evaluados, los autores consideran que es necesario tener un número mayor de pacientes para poder validar los resultados obtenidos. No obstante, las características de análisis de movimientos encontrados muestran el potencial de poder ser implementados para desarrollar una herramienta que permita identificar posibles riesgos de desarrollo psicomotriz en bebés.

En (Ricardo et al., 2018) se reporta una investigación en donde se hace uso de acelerómetros para evaluar la actividad física durante una semana, capturando los movimientos psicomotrices que realizan 90 bebés menores de un año. El sensor inercial es colocado en la muñeca y en el tobillo del bebé. Los datos recopilados proporcionan información del movimiento psicomotriz que realizan los bebés, destacando que, en comparación con bebés que ya eran capaces de caminar, los bebés que aún no pueden caminar muestran una menor variabilidad en aceleración de movimiento psicomotriz. Además, se realiza una entrevista cualitativa a los padres de los bebés para evaluar la usabilidad de sensores en menores de edad. Se reporta que la mejor posición para colocar el sensor es en la muñeca del bebé, debido a que los padres reportan que es ahí en donde los bebés no presentaron molestias al tener un dispositivo en la extremidad.

Los sensores basados en IMUs y cámaras de video para la detección de movimientos en humanos presentan muchos desafíos que son considerados en (Marín et al., 2020). Además, se presenta el desarrollo de un sistema en donde se implementan sensores IMUs y cámaras infrarrojas para el análisis de movimientos corporales en adultos. En particular, se colocaron reflectores sobre los IMUs para retroalimentar a las cámaras infrarrojas. De esta manera fue posible comparar los datos proporcionados por ambos esquemas para determinar las posiciones de movimientos realizados por las personas mediante el desarrollo del sistema que tiene el objetivo de dar seguimiento a personas en rehabilitación y ayudar a profesionales de la salud en la toma de decisiones para los tratamientos terapéuticos.

Con el avance del desarrollo tecnológico, actualmente existen en el mercado dispositivos portátiles comerciales (wearables) basados en sensores inerciales para dar seguimiento de actividades físicas ofreciendo una manera de adoptar un estilo de vida más saludable. Sin embargo, más allá de ofrecer información de monitoreo de actividades físicas y de salud, es importante considerar la usabilidad y aceptabilidad de estos dispositivos para garantizar una correcta adopción a largo plazo al ofrecer una fácil interacción entre los usuarios y el dispositivo en la visualización de los datos. Por ello, en (Mackintosh et al., 2019) se estudió la perspectiva sobre la aceptabilidad y usabilidad tanto de padres como de los niños respecto al uso de dispositivos portátiles para el monitoreo de la actividad física de los infantes de 7 a 13 años. Utilizando un rastreador de actividad física comercial colocado en la muñeca se encontró que los padres informaron que el dispositivo portátil es fácil de usar. Sin embargo, los padres mencionan que hubo

dificultades al momento de interpretar los datos al considerar que eran muy complejos de entender. Además, se reportó que los niños mostraron cierta frustración al no poder acceder al dispositivo para ver los datos en tiempo real, esto debido a que esa información solo está disponible mediante una aplicación a la cual solo pueden acceder los padres de familia. En general, los padres mencionan que los niños querían funciones adicionales como una pantalla incorporada al rastreador, así como una rutina de actividades a efectuar para hacer más dinámico el uso del dispositivo.

En (Maher et al., 2017) evaluaron la experiencia del uso de un dispositivo portátil para medir la actividad física de usuarios adultos. Específicamente se evaluaron productos comerciales como Fitbit, Garmin y Jawbone, en donde usuarios informaron durante un tiempo de 7 meses como ha cambiado su ritmo de vida al utilizar los dispositivos portátiles. La evaluación arrojó que la mayoría de los usuarios reportaron un cambio significativo al mejorar su tiempo de actividad física. Además, el 89% de los participantes valoraba de buena manera una retroalimentación en tiempo real. Sin embargo, el 70% de los participantes evaluados informó problemas técnicos con los dispositivos, más concretamente con el tiempo de duración de la batería y dificultades para leer los datos ofrecidos por el dispositivo.

Basados en la revisión de la literatura, podemos inferir que si bien el uso de dispositivos portátiles ayuda en gran medida al usuario al poder ofrecer una retroalimentación de las actividades diarias, se debe analizar su usabilidad para que la experiencia del usuario sea la más adecuada. Este análisis debe abordar aspectos como la claridad de la información mostrada para un fácil entendimiento, durabilidad en sus diferentes aplicaciones de uso y ofrecer funcionalidades de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Además de cumplir con requisitos técnicos que garanticen la seguridad del usuario al momento de ser utilizado como herramienta de apoyo para el monitoreo de actividades físicas salvaguardando la integridad del usuario.

2.4 Aplicaciones móviles como herramientas de apoyo en la rehabilitación

La literatura presentada en la sección anterior, se exponen desarrollos de sistemas tecnológicos basados en IMUS y WSN que ofrecen el potencial para la detección, monitoreo, evaluación y control de movimientos corporales tanto para personas que han sufrido algún accidente, así como la detección de posibles problemas de movilidad en infantes. Naturalmente, con este tipo de innovaciones tecnológicas es necesario diseñar aplicaciones móviles (Apps) para presentar información relevante tanto para los usuarios finales, como al personal especialista de la salud que da seguimiento a los pacientes. En este

sentido, un estudio realizado por (Rodríguez Mariblanca & Cano de la Cuerda, 2021) reporta que, de un análisis exhaustivo de diferentes investigaciones científicas donde se desarrollaron aplicaciones relacionadas con la discapacidad por parálisis cerebral infantil, solo 63 aplicaciones móviles muestran un potencial útil para servir como herramientas de apoyo para la discapacidad. Entre estos, solo 23 aplicaciones están específicamente diseñadas para atender la PCI. En particular, 11 ofrecían información concreta sobre la discapacidad de PCI, 3 estaban dedicados para la valoración del infante y 9 aplicaciones estaban diseñadas para dar un seguimiento del tratamiento. Además, se realizó un estudio profundo sobre el potencial uso de aplicaciones móviles enfocadas al cuidado de la salud en el futuro, respaldado por el aumento en las ventas de teléfonos inteligentes y la previsión de un creciente número de dispositivos conectados. Los resultados indican un potencial alza en la adopción de estas aplicaciones, lo que podría conducir a una mayor participación tanto del paciente como del especialista de la salud en la atención de diversas condiciones médicas.

En (Peake et al., 2018) se realizó una investigación exhaustiva acerca de los dispositivos y aplicaciones móviles enfocados al cuidado de la salud que ofrecen una retroalimentación al usuario. Se evaluaron las funciones que cada dispositivo realiza y validó su confiabilidad, ya que el usuario al momento de adoptar una tecnología de este tipo, debe considerar si los resultados de los datos que proporciona el dispositivo son los adecuados, acorde a las necesidades del usuario.

En (Schlage et al., 2021) se desarrolló un sistema basado en IMUs para la detección de movimientos para personas que han sufrido algún accidente de la rodilla. El sistema considera el uso de una aplicación móvil para recibir los datos mediante una conexión Bluetooth. Aunque el objetivo es proporcionar al usuario información respecto a si los movimientos son realizados de manera adecuada, hasta el momento de escritura del presente trabajo de investigación, el sistema reportado solo almacena la información en la app para su análisis posterior y no ofrece retroalimentación en tiempo real. En contraste, el sistema presentado en este trabajo de investigación se evalúa la retroalimentación en tiempo cuasi-real al usuario, mediante la implementación de una interfaz para una aplicación móvil lo que permite correcciones en el momento.

En la literatura descrita anteriormente, se exponen las diferentes implementaciones y desarrollos de sistemas que utilizan IMUs para evaluar movimientos corporales y con ello determinar posibles desarrollos atípicos psicomotrices en infantes. Estos estudios han demostrado la efectividad del uso de los IMUs y WSNs en la detección y análisis de movimientos, lo que podría tener aplicaciones potenciales en el ámbito de la salud y la rehabilitación física. Sin embargo, a pesar de su amplio uso en diferentes entornos de

monitoreo de movimientos corporales y seguimiento del estado de salud, no se encontraron estudios que hagan uso de las redes de sensores inerciales para ofrecer retroalimentación en tiempo cuasi real respecto a la realización correcta e incorrecta de ejercicios de fisioterapia.

En este sentido, es importante destacar que, hasta el momento no se han desarrollado aplicaciones móviles que hagan uso de los IMUs para recibir datos en tiempo cuasi real y ofrecer retroalimentación durante la realización de ejercicios en infantes con alguna discapacidad psicomotriz. Debido a que la discapacidad de movimiento corporal implica una variedad de dificultades psicomotoras que requieren tratamientos fisioterapéuticos con una atención especializada, la implementación de aplicaciones utilizando IMUs como herramienta de apoyo para ofrecer retroalimentación en la rehabilitación fisioterapéutica en infantes podría ofrecer una solución innovadora y de bajo costo para su fácil accesibilidad.

La falta de investigación en este campo representa una oportunidad significativa, con lo cual se abrió una línea de investigación que resultó en dos tesis de maestría previas (Castro P., 2023; Rosales J., 2021) realizadas dentro del grupo de investigación. En estos trabajos se desarrolló e implementó un sistema de redes de sensores inerciales para clasificar movimientos correctos e incorrectos de infantes que realizan fisioterapia asistidos por los padres o cuidadores.

Continuando esta línea de investigación, en este trabajo de tesis se busca desarrollar una interfaz para una aplicación móvil siguiendo la metodología de diseño centrada en el usuario para el sistema de detección de movimientos propuesto para apoyo de fisioterapia en infantes. En particular, en este trabajo de investigación se abordan temas de diseño e implementación de una interfaz en donde se consideran los requisitos específicos de los usuarios y los desafíos a los cuales se enfrenta la tecnología para ofrecer herramientas para el apoyo de la discapacidad física en infantes.

Capítulo 3. Estudio contextual

La importancia de diseñar productos y sistemas acorde a las necesidades de las personas está siendo adoptado en los procesos de desarrollo que buscan, mediante una investigación realizada al público objetivo, mejorar o adecuar sus productos y sistemas para generar una respuesta positiva al público al que están dirigidos (Burns W. et al., 2005). Existen modelos de estudios que permiten generar información relevante para diseñar, mejorar productos o sistemas basados en la interacción humano-computadora. Para ello, es necesario realizar una investigación centrada en el contexto del público objetivo. El conocer las características particulares de una persona no es suficiente para poder definir los atributos necesarios para implementar una solución al problema identificado. Un buen diseño de sistemas centrados en el usuario debe abordar una serie de requisitos que incluya hábitos, preferencias, expectativas, problemas y necesidades de un público específico.

Bajo esta premisa, este trabajo de investigación sigue la metodología de diseño centrado en el usuario para desarrollar una interfaz que se adapte a los requisitos que permitan una interacción efectiva entre el usuario y el sistema de detección de movimientos. El diseño del sistema será evaluado por los usuarios en un entorno realista, donde se podrá determinar su viabilidad como herramienta de apoyo mediante la retroalimentación directa de los usuarios. Estas pruebas permitirán realizar ajustes y mejoras que establecerán las características idóneas en el desarrollo de una interfaz que busca ofrecer retroalimentación de la realización de movimientos en correctos o incorrectos llevados a cabo en la fisioterapia para infantes con discapacidad psicomotriz utilizando una aplicación móvil.

Esta metodología se estructura en 4 etapas como se muestra en la figura 1, las cuales se describen brevemente a continuación.

- 1. Identificación de necesidades/establecimiento de requerimientos:** Para el desarrollo de la investigación primero se parte en identificar o establecer los requerimientos que serán la base del estudio. Existen diferentes métodos de recolección y análisis de datos que permiten identificar la problemática de interés y con ello entender las necesidades del usuario. Algunos métodos utilizados son las observaciones y auto reportes. A partir de esta actividad se obtendrán las características que serán consideradas en la siguiente etapa.
- 2. Diseño/Rediseño:** El identificar las necesidades y requerimientos permitirán continuar a la etapa dos, que es el diseño/rediseño de prototipados. En esta etapa se diseña la arquitectura del

elemento a desarrollar. Se juega con la ubicación de componentes, formas de comunicación, tipos de texto a utilizar, entre otros.

3. **Construcción de una versión interactiva:** La tercera etapa es el realizar prototipado con los diseños previamente establecidos. Se debe considerar las herramientas a utilizar para poder construir la versión interactiva y que esta pueda ser utilizada por el público objetivo.
4. **Evaluación:** Una vez desarrollado el prototipo con las características identificadas se procede a evaluar el sistema para obtener respuesta del público objetivo. Cada una de las etapas de la metodología utilizada en este trabajo es iterativo, esto quiere decir que, en cada iteración deberán realizarse adecuaciones para finalmente establecer un prototipo el cual podrá ser implementado como el sistema final.

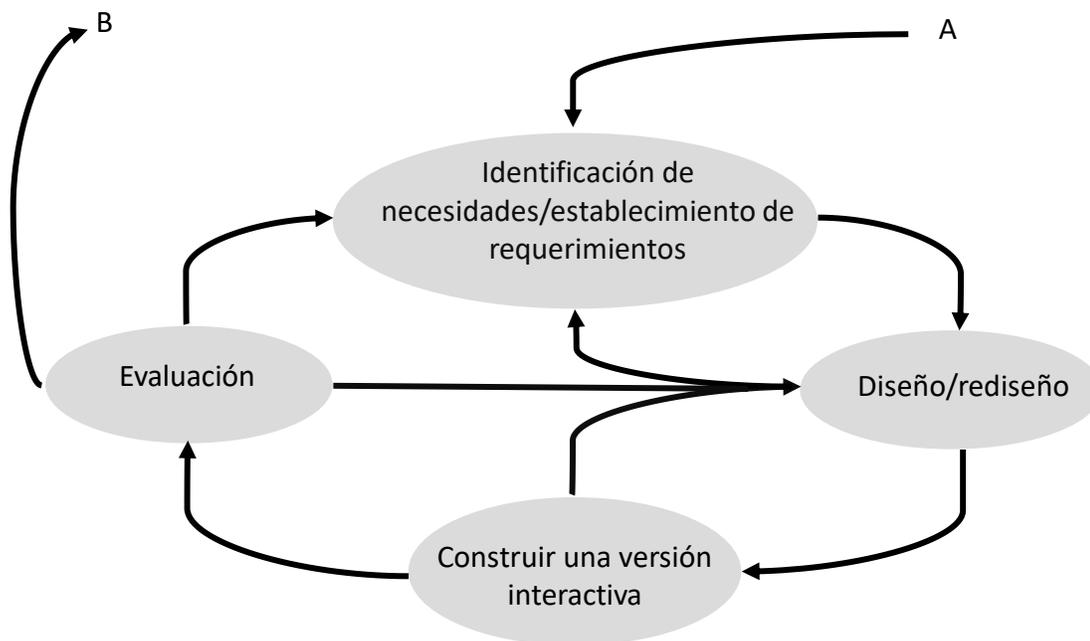


Figura 1. Metodología de diseño interactivo utilizada en este trabajo de investigación, tomado de (Preece et al., 2015).

Cada una de las etapas de la metodología de diseño interactivo que se realizaron en este trabajo se explicará en las siguientes secciones de este capítulo. Desde la herramienta utilizada para la identificación de necesidades y establecimiento de requerimientos, hasta los métodos de evaluación a utilizar para obtener retroalimentación por parte del público objetivo. La primera etapa de la metodología de diseño interactivo busca comprender e identificar las necesidades del público, de acuerdo al fenómeno o

problema en estudio. Para abordar la primera etapa, se realizó una investigación cualitativa. Esta técnica permite explicar el fenómeno o problema mediante un **estudio contextualizado**, ofreciendo resultados que no son posibles de obtener mediante métodos de análisis estadísticos o cualquier otro método cuantitativo. Esto no quiere decir que no se pueda cuantificar los datos que se obtengan del estudio. Sin embargo, la mayor parte del análisis de la información es de carácter interpretativo. A continuación, se explica el desarrollo del estudio contextual, las herramientas utilizadas para realizar el estudio y las herramientas empleadas para analizar la información recopilada.

3.1 Estudio contextual

El estudio contextual consiste en investigar al usuario en el ambiente donde se desenvuelve con el objetivo de comprender su entorno, experiencias, percepciones y comportamientos ante un posible problema al cual se enfrenta día con día. El estudio se logra a través de técnicas de recopilación de información como entrevistas, observaciones, análisis de documentos reportados en literatura, grupos focales y casos de estudio (Burns W. et al., 2005). El tener una comprensión profunda del problema en estudio permitirá tener un amplio panorama para brindar diferentes soluciones al problema identificado. En nuestro caso, se está desarrollando un sistema de detección de movimientos para apoyar a padres o cuidadores que realizan fisioterapia a infantes con discapacidad psicomotriz. Sin embargo, se requiere identificar el medio adecuado para facilitar la interacción entre el usuario y el sistema para ofrecer retroalimentación durante la realización de ejercicios propios de la terapia física.

En el presente trabajo de investigación, se llevó a cabo un estudio de campo para realizar el estudio contextual. Este incluye una entrevista semi-estructurada con padres de familia y especialistas en terapia física. Los objetivos del estudio contextual fueron los siguientes:

- Conocer cómo los padres o cuidadores del infante realizan los ejercicios de fisioterapia desde casa y si utilizan alguna herramienta, material o tecnología en las sesiones de fisioterapia.
- Identificar las necesidades de los padres o cuidadores del infante en cuanto al uso de sistemas tecnológicos como herramientas de apoyo en la fisioterapia.
- Conocer las limitaciones que enfrentan los padres o cuidadores del infante fuera de los centros de rehabilitación.

- Identificar las características de diseño de una interfaz interactiva adecuada para un sistema de detección de movimientos, con el propósito de brindar retroalimentación a los padres o cuidadores del infante durante las sesiones de fisioterapia.

Como parte de la metodología de la investigación cualitativa para el desarrollo del estudio contextual, se planteó la siguiente pregunta de investigación, la cual busca responder los objetivos anteriores:

¿Qué características debe tener una interfaz de usuario para un sistema que servirá de apoyo a los terapeutas no expertos que realizan ejercicios de fisioterapia con infantes desde casa?

Con esta pregunta de investigación establecida como guía, se estructuró el proceso de implementación del estudio que se desarrolló en 3 etapas:

- Reclutamiento de participantes.
- Recolección de datos.
- Análisis de datos.

Estas etapas se describen a continuación:

3.1.1 Reclutamiento de participantes

El estudio contextual se llevó a cabo en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT) en Tijuana, Baja California, México. Para acceder y poder trabajar con las personas, se contó con el apoyo la coordinadora de fisioterapia del CRIT, quien autorizó para trabajar en el área de terapia física que es donde asisten los infantes con alguna discapacidad psicomotriz. En esta área se buscó a participantes potenciales que cumplieran con las siguientes características:

- Que estuvieran a cargo de infantes con alguna discapacidad psicomotriz.
- Que los infantes bajo su cuidado requirieran asistencia para la realización de fisioterapia.
- Que llevaran un itinerario para realizar fisioterapia en casa.

- Que asistieran periódicamente al CRIT para sesiones de rehabilitación.
- No es necesario que los participantes tuvieran algún conocimiento específico sobre el uso de tecnologías.

Con los criterios previamente descritos se realizó el proceso de selección de participantes utilizando la técnica de observación no participativa para la recolección de datos mediante la entrevista semi-estructurada. Esta técnica también fue la primera actividad considerada en la etapa de recolección de datos, tal cual se describe en la siguiente subsección.

3.1.2 Recolección de datos

Para la generación de información se realizaron 2 actividades. De las cuales, la **primera actividad** que se llevó a cabo fue el proceso de reclutamiento de los participantes, la cual se denomina como observación no participativa y que tiene por objetivo conocer cómo se llevan a cabo las actividades en el centro de rehabilitación sin que el investigador se involucre en las actividades de los padres de familia ni de los fisioterapeutas. La **segunda actividad** fue realizar sesiones de entrevistas semi-estructuradas a padres de familia o cuidadores de infantes y a fisioterapeutas. Estas sesiones fueron grabadas, obteniendo un total de 13 audios para posteriormente analizarlas utilizando la técnica de la teoría. A continuación, se describen estas actividades.

3.1.2.1 Observación no participativa

La observación no participativa permite conocer de manera directa el entorno, el participante y las actividades que realiza, esto con el fin de obtener información que permita diseñar una solución adecuada a sus necesidades.

En el caso del presente trabajo de investigación, se realizaron sesiones de observación no participativa durante el proceso de reclutamiento de participantes, la información se detalla en la tabla 1. En esta actividad los padres sabían que estaban siendo observados. La actividad se llevó a cabo durante 4 días consecutivos, observándose en promedio a 20 padres de familia realizando ejercicios de fisioterapia con sus infantes.

Tabla 1. Detalles de los participantes de la observación no participativa.

Centro	Participantes	Cantidad de sesiones	Tipo de observación
Centro de Rehabilitación Infantil Teletón	Padres de familia e infantes con PCI	4	No participativa

En general, se observaron a las personas que se encontraban realizando alguna actividad de terapia física. A partir de estas observaciones, se seleccionaron los posibles candidatos con las características mencionadas en el subtema 3.1.1. Se les dio una breve explicación del proyecto y las actividades a realizar. Una vez que el candidato aceptaba participar, se le entregaba un documento de consentimiento informado (ver anexo C) para después recabar información mediante una entrevista semiestructurada (ver anexo A, B).

A continuación, se describe el desarrollo de la segunda actividad para la recolección de datos.

3.1.2.2 Entrevista semi-estructurada

El desarrollo de las entrevistas semi-estructuradas, busca recabar datos que permitan explicar cómo los padres de familia llevan a cabo ciertas actividades en el área de la rehabilitación física. En total se reclutaron a 10 padres de familia y 3 fisioterapeutas como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Participantes de la entrevista semi-estructurada.

Centro	Participantes
Centro de Rehabilitación Infantil Teletón	Padres de familia (n=10)
	Fisioterapeutas (n=3)

Los temas de la entrevista semi-estructurada fueron los siguientes:

1. Modo de enseñanza y aprendizaje de los ejercicios en el centro de rehabilitación.
2. Uso de herramientas y material de apoyo.

3. Conocimiento y uso de sistemas tecnológicos.
4. Propuesta de un sistema para ofrecer retroalimentación de los ejercicios de fisioterapia realizados en casa.

Las entrevistas semi-estructuradas se llevaron a cabo de manera individual con cada uno de los participantes. Antes de iniciar con la entrevista se le dio al participante una presentación en donde se mencionó la institución de procedencia, el objetivo de la entrevista y se le explicó a detalle el documento de consentimiento informado. Además, se hizo de su conocimiento que la actividad de la entrevista no afectaría de ninguna manera en sus actividades cotidianas en el centro de rehabilitación.

La estructura del protocolo de la entrevista para padres de familia o cuidadores del infante es el siguiente:

- Datos del participante (Nombre y relación de parentesco con el infante).
- Historial clínico.
- Asistencia con un fisioterapeuta para el aprendizaje de ejercicios.
- Usos de dispositivos electrónicos.
- Propuesta de escenario utilizando el sistema de detección de movimientos corporales.

El documento de la entrevista para padres de familia se puede consultar en el Anexo A.

De la misma forma, la estructura del protocolo utilizado para entrevistar a especialistas en terapia física es el siguiente:

- Datos del fisioterapeuta.
- Campo formativo.
- Atención a pacientes y enseñanza de ejercicios.

- Uso de tecnologías.
- Uso de tecnologías como medio de comunicación.
- Retroalimentación de los ejercicios instruidos a realizarse en casa.

El documento de la entrevista para fisioterapeutas se puede consultar en el Anexo B.

Una vez completada las 2 actividades para la recolección de datos, se generó información relevante para el estudio. Para el caso de la entrevista semi-estructurada, los datos de audio grabados fueron transcritos en un documento digital utilizando el software “Atlas.Ti²”.

3.2 Análisis de datos

Para poder analizar la información que se generó nos apoyamos de la metodología de la investigación cualitativa, en donde se utilizó la técnica de la teoría fundamentada para poder describir el problema al cual se enfrentan los padres de familia cuando realizan fisioterapia con infantes. A continuación, se presenta el análisis de los datos recabados.

3.2.1 Teoría fundamentada

Una vez realizado el estudio contextual, al recabar la información requerida por medio de la entrevista semi-estructurada, es necesario **analizar los datos recopilados e interpretar los resultados** para obtener conclusiones que permitan realizar un diseño inicial de la interfaz para una aplicación móvil que ofrezca retroalimentación al usuario. Para esto es necesario seguir una estructura de análisis propia de la investigación cualitativa. En particular, en este trabajo se utiliza la **teoría fundamentada** para realizar este análisis.

La teoría fundamentada fue desarrollada por (Strauss & Corbin, 1988) es una metodología cuyo objetivo es generar teoría a partir del análisis de datos obtenidos a través de un estudio contextual. A partir del análisis como estrategia de investigación, la teoría fundamentada se caracteriza por: fracturar,

² <http://www.atlasti.com/index.html>

conceptualizar e integrar datos para generar una teoría de manera inductiva y sistemática (Martínez & Morán, s.f.).

Este método busca responder las preguntas claves de la investigación mediante una teoría derivada del análisis, con el fin de comprender y describir el fenómeno o problema en estudio proporcionando un marco de referencia, de ahí el nombre de la teoría fundamentada.

En la figura 2 se muestra el modelo que describe el proceso de desarrollo de la teoría fundamentada para realizar el análisis de la información obtenida del estudio contextual. El modelo se caracteriza por la ejecución sistemática de las siguientes tareas:

- 1. Codificación abierta:** Es el proceso de separar, examinar, comparar y conceptualizar datos para ser agrupados. En este primer punto, a partir del análisis de la información se determinan los conceptos relevantes del objeto en estudio, los cuales son agrupados en categorías, estas a su vez deben contener propiedades que los identifique como parte de un conjunto, que le da significado a la categoría.
- 2. Codificación axial:** El proceso de relacionar categorías a subcategorías. Llamado axial debido a que el conjunto principal de una categoría está directamente relacionado con otro conjunto de la cual este último es dependiente, de acuerdo a las propiedades y dimensiones que las relacionan entre sí. Por ejemplo, una categoría principal representa un fenómeno o suceso y una subcategoría ofrece información del por qué o bajo qué condiciones sucede dicho fenómeno.
- 3. Selección de teoría:** El resultado del agrupamiento/reagrupamiento de los datos nos da una perspectiva con un amplio panorama del por qué, el cómo, cuándo y dónde sucede o se da el fenómeno en estudio. La construcción de la teoría se genera sólo a partir de análisis exhaustivos e iterativos de los datos o información recabados del estudio contextual.

De esta manera se genera una teoría que explica a profundidad con base en la información obtenida de diferentes medios de datos textuales del fenómeno o problema en estudio.

Al generar la teoría que describe y permite comprender a profundidad el objeto en estudio, podemos pasar a la siguiente etapa de la metodología de diseño interactivo, la cual consiste en diseñar propuestas que puedan proveer una solución del objeto en estudio.

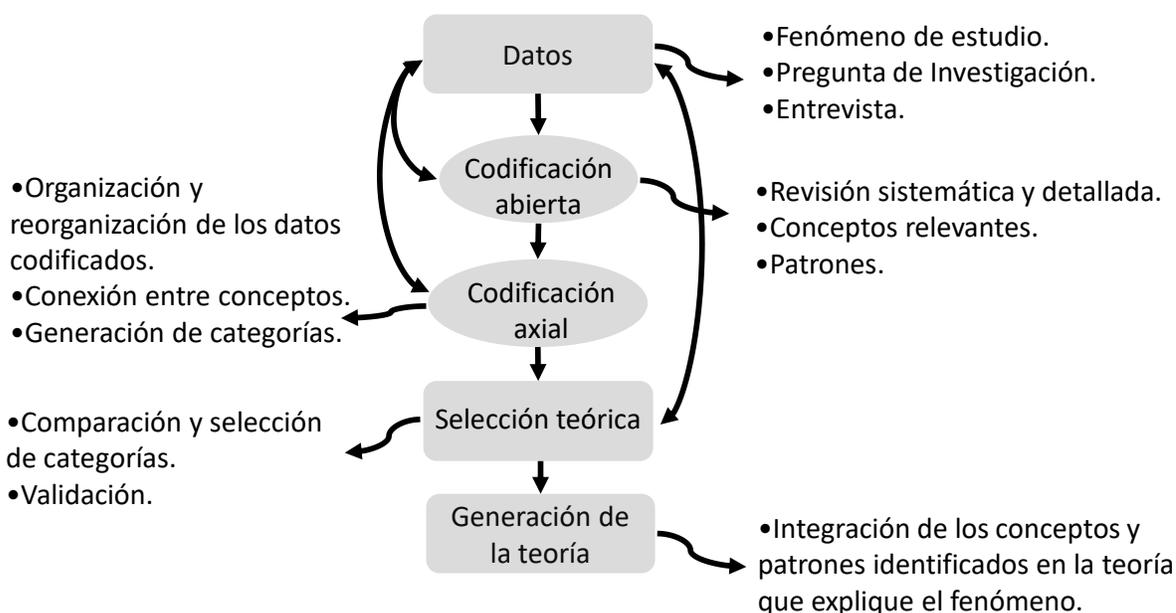


Figura 2. Modelo de desarrollo de la teoría fundamentada empleada para la identificación de problemas o fenómenos en el área de estudio de interés.

3.3 Resultados del análisis de datos

Una vez recabada la información, se procedió a realizar el análisis de la misma. Los resultados derivados de las notas tomadas durante las sesiones de observación no participativa se presentan en primera instancia, seguidos de los resultados arrojados por el análisis de las entrevistas utilizando la técnica de teoría fundamentada.

Los resultados del análisis de la observación no participativa se presentan a continuación. Se inicia con una descripción del área de trabajo del CRIT y se concluye con una explicación detallada del desarrollo de las sesiones entre los padres de familia y los fisioterapeutas en el centro de rehabilitación.

3.3.1 Descripción del área de trabajo

El área de fisioterapia está equipada con 4 camas hospitalarias, las cuales se caracterizan por contar con diferentes configuraciones para adecuarse a las necesidades de los usuarios. Ahí mismo se encuentra un sistema de robot llamado Lokomat, diseñado para el entrenamiento de la marcha asistida, el cual ofrece apoyo durante las caminatas. También en el área disponen de varios sistemas de juegos interactivos. Por

ejemplo, hay caminadoras equipadas con una interfaz táctil que muestra juegos diseñados para motivar a los usuarios a realizar diversos ejercicios físicos.

3.3.2 Descripción de las sesiones

El modelo de trabajo con los padres de familia se desarrolla de la siguiente manera:

Se establece un cronograma de actividades que deben realizar los padres con sus infantes. Generalmente, los padres acuden al centro de rehabilitación una vez por semana, quincenalmente o mensualmente, para la realización de diferentes actividades en el CRIT.

En el caso de la terapia física, se implementa un modelo de trabajo grupal, en el cual participan entre 5 a 6 usuarios para ser atendidos por un fisioterapeuta. Estas sesiones se organizan según el tipo de discapacidad, la edad del infante y su progreso en la rehabilitación. Al inicio de la sesión, el especialista dirige los ejercicios de calentamiento muscular, seguidos de diferentes ejercicios como flexión y extensión de rodilla. Posteriormente, se utilizan materiales de apoyo como pelotas, pinzas y juegos de construcción para trabajar las habilidades cognitivas, fuerza y resistencia, coordinación bilateral y tolerancia a los movimientos.

Durante las sesiones grupales, los padres se apoyan de manera mutua para la realización de los ejercicios. Cuando un padre o cuidador del infante realiza incorrectamente un ejercicio, otro padre de familia lo auxilia. Mientras tanto, el fisioterapeuta trabaja individualmente con cada padre para evaluar el progreso del infante y proporcionar instrucciones sobre el aumento de las sesiones en casa o la modificación de los ejercicios.

Finalmente, algunos padres utilizan sus teléfonos celulares para entretener al infante con música o videos mientras realizan la fisioterapia.

3.3.3 Resultados de la entrevista semi-estructurada

El análisis de la actividad 2, como parte del estudio contextual realizado en el CRIT, arrojó la información diversa que se resume a continuación.

Respecto a las características de los participantes

Del total de los participantes entrevistados, todas son mujeres y madres de los infantes que asisten al centro de rehabilitación. Los niños tienen edades comprendidas entre 3 y 11 años, con una media de 5.8 años y todos presentan parálisis cerebral infantil (PCI), por lo que requieren una atención especial en cuidados personales y de terapia física.

Respecto al aprendizaje para la realización de ejercicios

Los padres asisten a las terapias de rehabilitación para apoyar a sus hijos en la realización de ejercicios físicos. Para el aprendizaje de la realización adecuada de ejercicios, el fisioterapeuta ejecuta los tipos y modos de ejercicios a realizar, mientras los padres observan cómo los realiza el fisioterapeuta para después ser ellos quienes los repliquen. De esta manera los padres tienen que aprender las diferentes posiciones de cada ejercicio que se realiza para ser replicados en casa. De la enseñanza que ofrece el especialista, todos los entrevistados reportan la observación y la memorización como parte del aprendizaje de los ejercicios que se realizan en el Teletón. Además, se reporta que:

- El 40% de los padres consulta las guías impresas proporcionadas por el centro de rehabilitación para reforzar el aprendizaje.
- Un 30% de los padres menciona que trata de recordar los ejercicios mediante la memorización.
- El 10% de los padres reporta utilizar videos de YouTube para recordar cómo realizar los ejercicios.
- Solamente el 10% de los padres reporta explícitamente preguntar y recibir retroalimentación por parte del especialista en sitio.
- Un 10% menciona no hacer uso de alguna herramienta como apoyo para la realización de fisioterapia.
- Respecto a las guías impresas mencionadas por los padres, estas son cuadernillos de terapia en donde se describe e ilustra paso a paso las posiciones para la realización del ejercicio.

Respecto a herramientas de apoyo utilizadas en casa para realizar la fisioterapia

De las herramientas de apoyo que son recomendadas por el fisioterapeuta para la realización de los ejercicios en casa, de todos los padres entrevistados se reporta lo siguiente:

- El 70% reporta el uso del cuadernillo de terapia.
- El 20% de los padres menciona el uso de material de apoyo (manualidades, pelotas, tapetes, uso de videos y aplicaciones móviles para los infantes) que es empleado como herramientas de apoyo para complementar los ejercicios.
- Un 10% de las personas refieren no usar alguna herramienta para la realización de fisioterapia.

De las herramientas mencionadas anteriormente, se reporta el uso del cuadernillo como herramienta de apoyo al iniciar un nuevo ejercicio de fisioterapia. Además, esta herramienta es ofrecida a todos los padres de familia y debido a la frecuencia de ejecución de los ejercicios, se reporta lo siguiente:

- El 30% refieren que no las requieren después de 2 o 3 sesiones.
- El 10% menciona volver utilizar el cuadernillo cuando se le olvida cómo realizar el ejercicio.
- Otro 30% reporta que lo utilizan en el proceso de la realización de los ejercicios
- Un 20% utiliza materiales de apoyo en vez de utilizar el cuadernillo
- Un 10% no se le realizó la pregunta, esto se debió a que, basándonos en sus respuestas previas y siguiendo el método del estudio contextual no se llegó a esa pregunta.

Respecto al uso de tecnología en fisioterapia

En cuanto al uso de la tecnología en la fisioterapia, del total de los entrevistados:

- El 80% afirma que sería una ventaja utilizar tecnología en la fisioterapia.
- Un 10% de los padres desconoce si sería beneficioso
- Un 10% de los padres no respondió.

Respecto a las expectativas de implementación tecnológica en terapia física infantil

Cada uno de los participantes comparte sus expectativas sobre la implementación de tecnologías que pudieran mejorar las sesiones de terapia física infantil cuando estas son realizadas en casa. De acuerdo con los resultados de la entrevista se reporta lo siguiente:

- El 30% de los padres sugiere la implementación de aplicaciones específicas como programas de estimulación muscular y traductores para atender las necesidades de los infantes.
- Un 20% menciona la utilidad de usar videos durante las sesiones.
- Otro 20% menciona la importancia de incorporar sonidos porque se ha observado que “el sonido relaja a los niños”.
- Un 20% expresó el poder implementar videollamadas para comunicarse con los fisioterapeutas y recibir retroalimentación en línea en caso de que no se pueda asistir físicamente al centro de rehabilitación.
- Finalmente, un 10 % no respondió a la pregunta.

Los resultados arrojan diversas expectativas sobre cómo el uso de la tecnología podría mejorar las sesiones de fisioterapia. Sin embargo, también resalta que los participantes carecen de una idea clara de cómo podría ser la interacción entre ellos y la tecnología. Por lo que existe la necesidad de explorar la mejor manera de integrar el uso de tecnologías de manera efectiva para mejorar la experiencia al momento de ser implementados en el área de estudio. En contraste, existe la creencia de que la tecnología sí puede apoyar en la fisioterapia.

Respecto al uso de dispositivos móviles

En este punto, primero se realizaron preguntas relacionadas al uso de dispositivos móviles. Del total de las personas entrevistadas, el 70% reporta que utiliza un dispositivo celular y respecto al uso que estos le dan se tiene que el 42% menciona que lo utiliza principalmente para comunicarse y acceder a las redes sociales. Por otro lado, el 28% utiliza el celular para reproducir sonidos durante las sesiones de fisioterapia con el infante. Respecto al 30% de participantes que no reportó usar un celular, el 20% de este grupo de

participantes dio una respuesta ajena al objetivo de la pregunta y a un 10% del total no se le realizó la pregunta, dado que, basándonos en sus respuestas previas no se llegó a esa pregunta.

En lo que respecta a la facilidad o dificultad en la manipulación de aparatos electrónicos en general, de acuerdo con el total de entrevistados:

- El 40% de las personas comentan que manipulan un teléfono inteligente sin problemas.
- Un 20% refiere tener dificultad de utilizar el dispositivo móvil.
- Otro 40% no se le realizaron preguntas relacionados al tema debido a que la respuesta dada anteriormente, no permitió realizar la pregunta.

Respecto a la retroalimentación proporcionada por el sistema

En cuanto a dónde pudiera ser adecuado presentar la retroalimentación proporcionada por el sistema propuesto, del total de los entrevistados:

- El 80% coincide que debería ser en el celular en donde se obtendría la retroalimentación.
- Un 10% responde que debería ser en el sensor donde se pueda obtener la retroalimentación.
- El otro 10% restante no respondió a la pregunta.

Sobre la manera en que se pudiera desplegar la información para ofrecer retroalimentación, del total de las personas entrevistadas:

- El 60% comenta que debería ser una retroalimentación visual.
- El 20% comenta que debería ser por medio de sonidos
- Un 10% concuerda que debería ser por medio de imágenes o audio.
- Un 10% restante no supo qué responder.

Respecto a cuándo se debe ofrecer la retroalimentación, del 90% de los entrevistados que respondieron, el 66% de las personas coinciden en que el sistema debería avisar cuando se está realizando un ejercicio de manera incorrecta. Lo anterior quiere decir que se necesita de una herramienta que permita evaluar los ejercicios que se realizan en casa.

En cuanto a cada qué tiempo debería mostrarse la información de retroalimentación de los ejercicios realizados usando el sistema propuesto, se les explicó a los participantes que cuando se menciona una serie de ejercicios nos referimos a realizar continuamente la actividad y al finalizar la sesión de fisioterapia se ofrezca la retroalimentación. Similarmente se les explicó que cuando se menciona recibir retroalimentación entre cada ejercicio, nos referimos a ofrecer la retroalimentación al finalizar cada movimiento individual que se vaya realizando durante una serie de ejercicios. De este modo, del total de las personas entrevistadas:

- El 40% respondieron que debería ser una retroalimentación al finalizar una serie de ejercicios.
- El 30% respondió que debería ser en cada ejercicio individual.
- Un 30% de las personas no se les realizó la pregunta.

Del análisis realizado de la actividad 1 y 2 como parte del estudio contextual, se generó la siguiente información plasmada en la figura 5, que a continuación se presenta.

3.3.4 Diagrama de afinidad

A partir del análisis del estudio contextual se generaron dos categorías y se realizó un diagrama de afinidad en donde se plasmaron las ideas y conceptos de manera visual en la categoría correspondiente, obteniendo los resultados de esta actividad tal como se muestra en la figura 3. La primera categoría se refiere a los cuidados necesarios que requieren los infantes con discapacidad psicomotriz. La segunda categoría se refiere al modo en cómo realizan los padres de familia fisioterapia en el centro de rehabilitación del CRIT. A partir de esta información se generó la teoría que explica las necesidades y carencias que se enfrentan los padres de familia con infantes que presentan discapacidad psicomotriz. Este diagrama muestra los conceptos relevantes que describen el fenómeno estudiado:

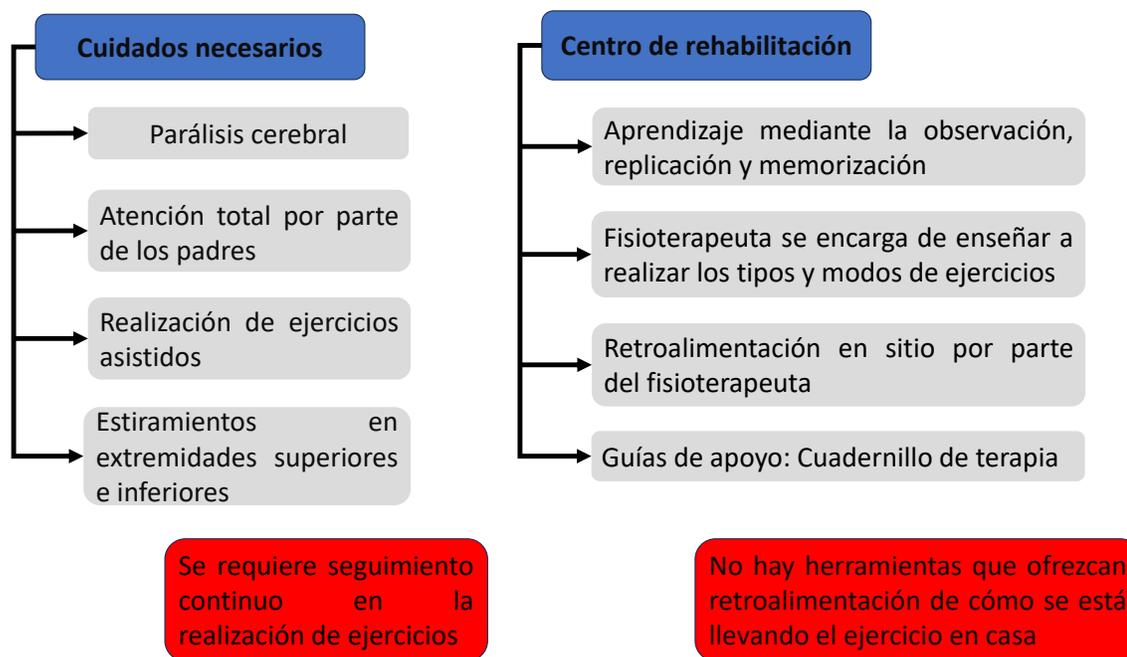


Figura 3. Generación de categorías y diagramas de afinidad las cuales representan el fenómeno estudiado.

3.4 Generación de teoría que describe el problema en estudio

El estudio contextual se realizó en el CRIT de Tijuana, Baja California, e involucró la participación de 10 padres de familia y 3 fisioterapeutas. A través de entrevistas semi-estructuradas, se recopiló información sobre cómo las personas llevan a cabo actividades en el área de la rehabilitación fisioterapéutica. A partir de estos datos, se ha llegado a la siguiente conclusión:

Las personas acuden al centro de rehabilitación para aprender a realizar terapia física destinada a infantes con alguna discapacidad psicomotriz. Los fisioterapeutas son responsables de enseñar los diferentes tipos y modos de ejercicios de la fisioterapia. Los padres aprenden mediante la observación, replicación y memorización de estos ejercicios para poder llevarlos a cabo en casa. En un entorno como lo es el CRIT, los padres pueden recibir retroalimentación por parte de los fisioterapeutas para corregir movimientos corporales y también resolver dudas relacionadas con la discapacidad de sus hijos.

El centro de rehabilitación proporciona herramientas de apoyo básicas para la realización de fisioterapia en casa, como el cuadernillo de terapia. Además, los fisioterapeutas recomiendan el uso de diferentes objetos como material de apoyo complementario para la realización de diferentes ejercicios. Sin embargo, estas herramientas de apoyo solo permiten guiar al padre para la realización de ejercicios, sin ofrecer

retroalimentación de cómo se está ejecutando el ejercicio. Además, un porcentaje significativo de los padres no reporta utilizar el cuadernillo de terapia. Dada la necesidad de una atención constante por parte de los padres y las visitas periódicas a los centros de rehabilitación debido a la discapacidad de los infantes, se considera importante contar con una herramienta que no solo guíe en la realización de ejercicios, sino que también permita corregir los movimientos mediante el uso de una aplicación móvil que implemente diferentes señalamientos.

3.5 Resumen del estudio contextual

El desarrollo e implementación del estudio contextual realizado en el CRIT de Tijuana, Baja California, México, permitió identificar las necesidades de los padres de familia en el proceso de realizar terapia física con infantes desde casa. Los resultados obtenidos revelaron la importancia de contar con una herramienta tecnológica que brinde retroalimentación durante las sesiones de fisioterapia que se realicen en el hogar. Se encontró que los padres aprenden los ejercicios de fisioterapia mediante la observación, replicación y memorización durante las sesiones realizados en el CRIT, pero que enfrentan dificultades para recordar cómo realizar correctamente los ejercicios en casa. Aunque se proporcionan herramientas de apoyo, como los cuadernillos de terapia, estos no tienen la capacidad de ofrecer retroalimentación sobre el modo de realizar los ejercicios. El análisis de las entrevistas reveló que los padres de familia consideran necesario e importante el uso de tecnologías que permitan recibir retroalimentación durante la sesión de fisioterapia. Además, se identificó que la mayoría de los padres utilizan dispositivos móviles, lo que sugiere el desarrollo de una aplicación móvil como una solución viable. Las características iniciales de diseño de la interfaz propuesta deben incluir la provisión de retroalimentación visual y auditiva para la corrección de la realización de los ejercicios de terapia física. Los sensores inerciales permitirán capturar los movimientos de los diferentes tipos de ejercicios de la terapia física, que padres o cuidadores realizan con infantes y estos deben ser conectados utilizando comunicación inalámbrica como lo es el Bluetooth a través de una aplicación móvil para que procese los datos y proporcione la retroalimentación requerida durante las sesiones de fisioterapia realizados en casa. Finalmente, este estudio contextual permitió obtener los requerimientos a implementar en la versión inicial de la interfaz, identificando el potencial de la herramienta para mejorar la efectividad de las sesiones de fisioterapia que llevan a cabo desde casa los padres de familia.

Capítulo 4. Diseño, prototipado y evaluación inicial de una interfaz para una aplicación móvil

4.1 Introducción

En el marco de la metodología del modelo de diseño de sistemas centrado en el usuario, este capítulo se centra en explicar las etapas 2,3 y 4 los cuales son: diseño/rediseño, prototipado y desarrollo de la interfaz para una aplicación móvil denominada ***SAFI -Sistema de Apoyo de Fisioterapia Infantil***, así como la pre evaluación del prototipo a través del desarrollo de un grupo focal. Estas actividades son fundamentales para garantizar que la interfaz para la aplicación móvil cumpla con los requisitos encontrados en el estudio contextual realizado en el CRIT, lo que proporcionará la base para el diseño y desarrollo de la interfaz de la aplicación final.

Para el desarrollo de SAFI se sigue una metodología basada en la técnica “Mago de Oz”. Esta técnica permite simular la funcionalidad de una aplicación antes de su implementación completa, por lo cual es utilizada para la obtención de retroalimentación temprana y permitir una iteración dinámica de diseño-rediseño. Finalmente se implementó el cuestionario SUS (*System Usability Scale*) como parte de la evaluación de la aplicación para validar su usabilidad con las características implementadas en esta primera versión. A continuación, se describe en detalle el proceso de diseño de la interfaz destacando la participación activa de los usuarios a través de grupos focales y sesiones de diseño con expertos. La metodología seguida está basada en el diseño de sistemas centrados en el usuario para garantizar de esta manera la refinación del diseño de la interfaz antes de llegar a la evaluación final.

4.2 Diseño y prototipado de la interfaz para una aplicación móvil SAFI

Basándonos en los resultados presentado en el capítulo 3, podemos concluir que los padres consideran una ventaja la integración de una herramienta tecnológica que proporcione retroalimentación cuando se realiza fisioterapia en casa. Dado a que el 70% de los padres entrevistados utilizan dispositivos móviles, como lo es el teléfono celular, se considera apropiado diseñar una aplicación móvil para implementar dicho sistema de ayuda. Dicho lo anterior, para poder facilitar las sesiones de fisioterapia en el hogar, se requiere de una herramienta de apoyo que permita evaluar diferentes ejercicios que se llevan a cabo

durante una sesión de fisioterapia infantil. A partir de las ideas expresadas por los padres de familia, se pueden inferir ciertos principios de diseño para la integración del sistema. En este sentido, a continuación, se proponen las características iniciales para el diseño de una interfaz que proporcione retroalimentación a los padres de familia que realizan terapia física con infantes desde casa.

- Proporcionar retroalimentación visual, utilizando líneas y colores para señalar las advertencias de los ejercicios mal realizados, permitiendo a los padres corregir y mejorar los ejercicios que realice en sus sesiones. Esta idea fue mencionada por el 60% de los participantes.
- Ofrecer retroalimentación a través de sonidos, lo cual pudiera ser adecuado para los padres de familia. Esta idea fue mencionada por el 20% de los participantes.

Teniendo esto en cuenta, se propone el desarrollo de una aplicación móvil que pueda recibir datos de los sensores durante la realización de los ejercicios de fisioterapia. La retroalimentación se presentará en forma de figuras en la aplicación y se considerará la integración de retroalimentación auditiva para evaluar y comparar su efectividad con la retroalimentación visual.

Esto nos permitirá determinar qué tipo de retroalimentación se adapta mejor a las necesidades de los usuarios finales. Se considera que el sistema utilizará un par de sensores que serán colocados en la extremidad sobre la cual se ejecutará la fisioterapia tal cual como se muestra en la figura 4.

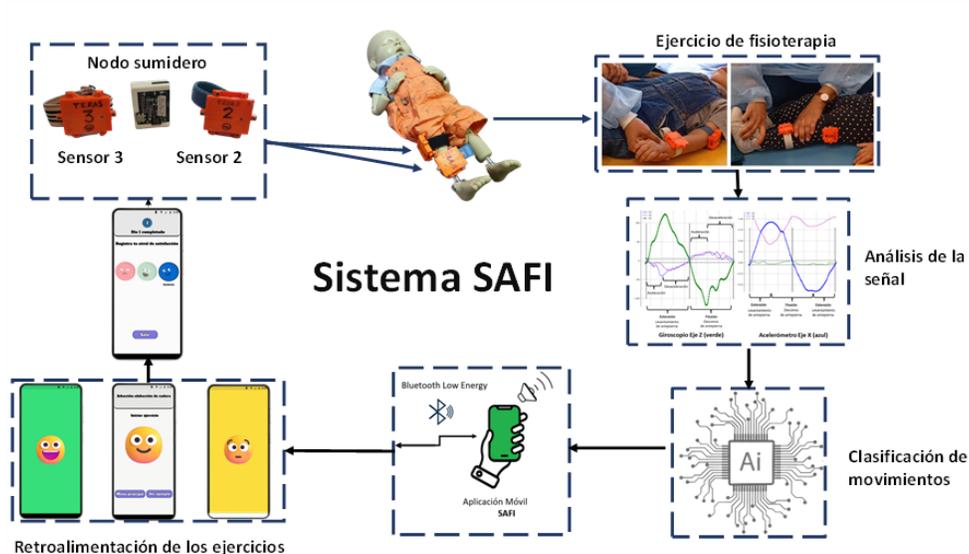


Figura 4. Modelo en desarrollo de un sistema basado en redes de sensores inalámbricos y algoritmos de aprendizaje automático.

En la figura 5 se presenta el diagrama de flujo que representa el principio de funcionamiento base del sistema tal cual se implementaría en una simulación de aplicación móvil. El conjunto de sensores se comunicará con la aplicación a través de una conexión inalámbrica de tipo Bluetooth. Al iniciar la aplicación, se solicitarán los permisos necesarios para poder utilizar la función Bluetooth y recibir los datos de los sensores inerciales. Una vez activada la función Bluetooth, se procederá a buscar y emparejar los sensores con el dispositivo móvil. Una vez emparejados, la aplicación comenzará a recibir datos de los sensores inerciales.

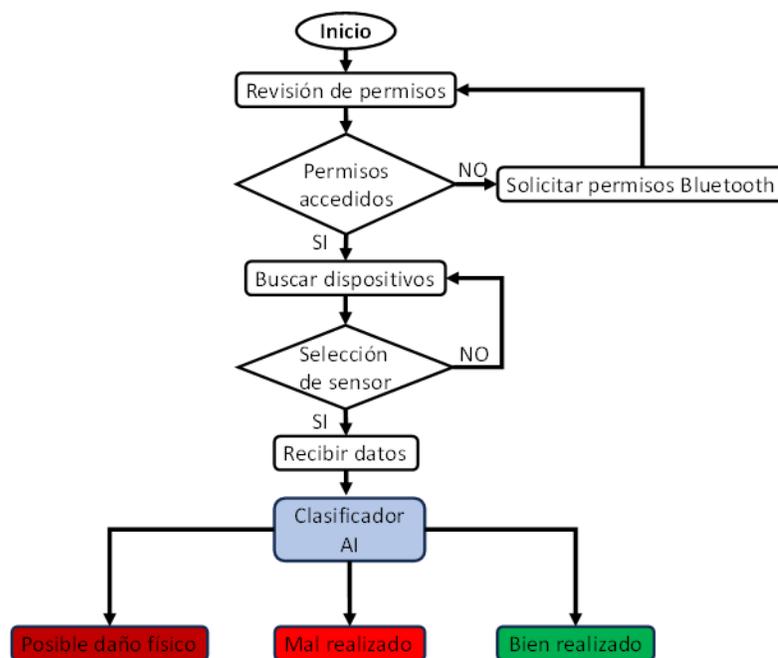


Figura 5. Principio de funcionamiento base para el desarrollo de la aplicación móvil, en donde el clasificador IA desarrollado en (Castro P., 2023) será simulado en este trabajo para evaluar la implementación de la interfaz.

En el primer paso del proceso de manipulación de los datos que serán recibidos en la aplicación, contemplando eventualmente la implementación del uso de técnicas de algoritmos de inteligencia artificial, los datos de movimientos serán procesados por la aplicación móvil en donde deberá extraerse ciertos atributos de las señales de movimiento para después ser clasificados y finalmente ofrecer un resultado. Aunque en este trabajo no se implementaron las técnicas de algoritmos de clasificación de movimientos basados en inteligencia artificial para el desarrollo de la retroalimentación de la interfaz, se implementó un esquema de simulación de las señales de movimiento capturados siguiendo la técnica “Mago de Oz”, de acuerdo al principio de funcionamiento del diagrama de flujo de la figura 5. Cuando se realice un movimiento de ejercicio de fisioterapia con el infante, la interfaz deberá ofrecer

retroalimentación en un dispositivo móvil si el movimiento fue realizado de manera correcta o incorrecta. De esta manera, los padres de familia podrán obtener retroalimentación inmediata al realizar ejercicios de fisioterapia con el infante, lo que permitirá corregir y mejorar los diferentes movimientos de acuerdo al ejercicio que se realice.

Para el desarrollo de la interfaz de la aplicación móvil se optó por utilizar el programa Figma que es un programa diseñado para crear prototipos también conocidos como mockups. Son gráficos de tipo vectorial para desarrollo de interfaz para plataformas web e interfaz de aplicaciones móviles. Presenta una buena arquitectura que permite implementar conceptos para aplicaciones de manera rápida y sencilla. Es muy utilizado para el diseño de interfaces de usuario y para evaluar la experiencia de usuario. La ventaja de utilizar Figma es que se pueden probar diferentes conceptos de diseños de manera ágil, al poder realizar cambios en tiempo real incluso cuando se están realizando las pruebas. Gracias a la versatilidad del programa se pueden recrear entornos en donde el usuario puede ser puesto a prueba en puntos críticos y evaluar las reacciones para ser contempladas en el diseño final.

El primer esquema de diseño se basó en el diagrama representado en la figura 6. La aplicación móvil ofrece: funciones básicas de interacción, como lo es la selección de los ejercicios; ejemplos visuales (animaciones) de los movimientos seleccionados de cada ejercicio; y provee la capacidad de conexión Bluetooth para emparejarse con los sensores inerciales.

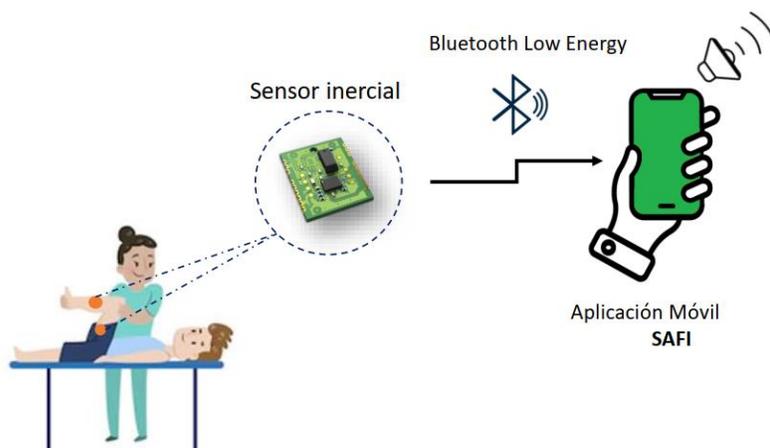


Figura 6. Sistema de apoyo de fisioterapia infantil (SAFI) basado en sensores IMUs y la interacción mediante una interfaz para una aplicación móvil.

La función principal de la aplicación móvil es clasificar los movimientos realizados en una sesión de fisioterapia, esto con el fin de proporcionar retroalimentación al usuario sobre la ejecución de los

ejercicios. Esta retroalimentación informa al usuario si la ejecución del ejercicio fue la adecuada. Para esta primera iteración, se consideró proporcionar retroalimentación de los ejercicios realizados a través de dos esquemas. El *primer esquema ofrece retroalimentación visual* a través de la interfaz gráfica de la aplicación, tal cual se describe en el diagrama en la figura 7.

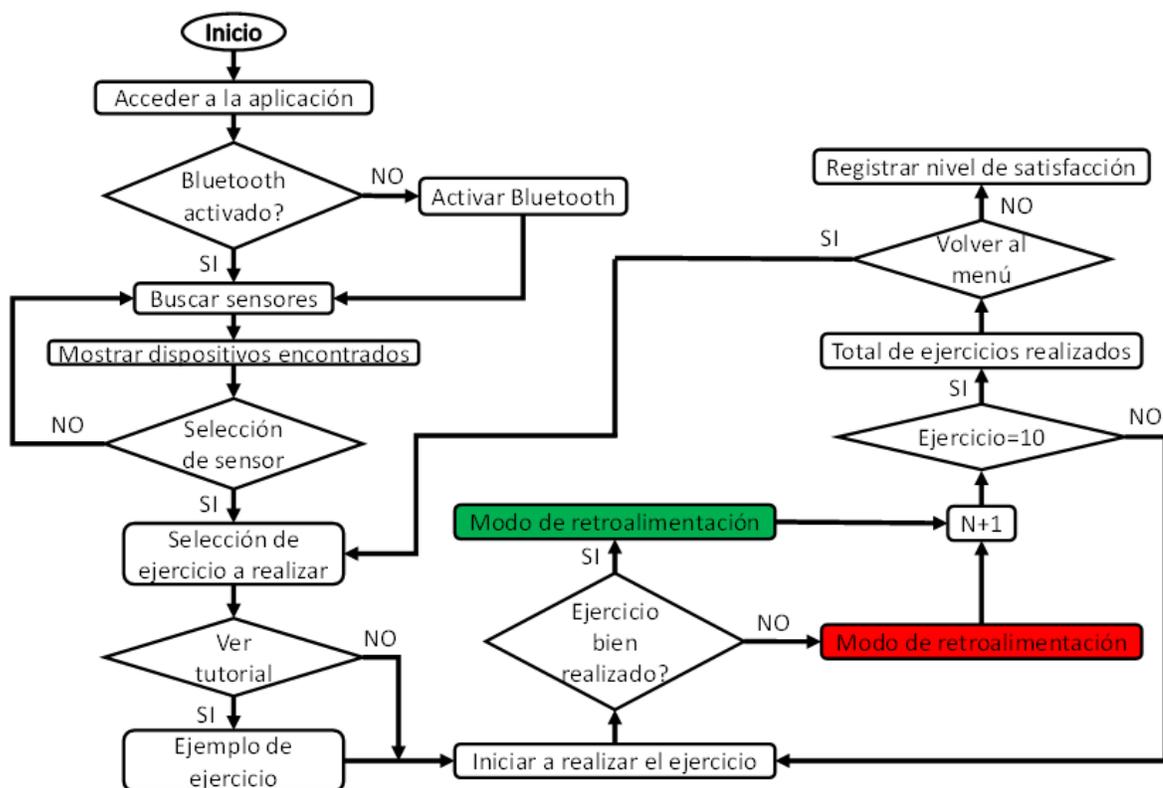


Figura 7. Diagrama de flujo de la maqueta de la aplicación diseñada en Figma para evaluar la interfaz de retroalimentación utilizando la técnica “Mago de Oz”.

En este esquema el usuario deberá estar visualizando la interfaz para obtener retroalimentación respecto a si ha realizado de manera correcta el ejercicio. El **segundo esquema se implementó una retroalimentación auditiva** mediante la integración de dos sonidos. Esto además de proporcionar una retroalimentación visual. Uno de los sonidos indica cuando se ha realizado un ejercicio de manera correcta, mientras que el otro sonido advierte sobre los movimientos mal ejecutados.

El funcionamiento de la aplicación se sigue mediante operaciones sencillas y similares a otras aplicaciones móviles. El usuario debe tomar su dispositivo móvil y deberá acceder a la aplicación móvil denominada

SAFI. Una vez seleccionada, se mostrará la pantalla inicial como se ilustra en la figura 8 (B). En esta pantalla el usuario debe interactuar con la aplicación previo a comenzar una sesión de fisioterapia.

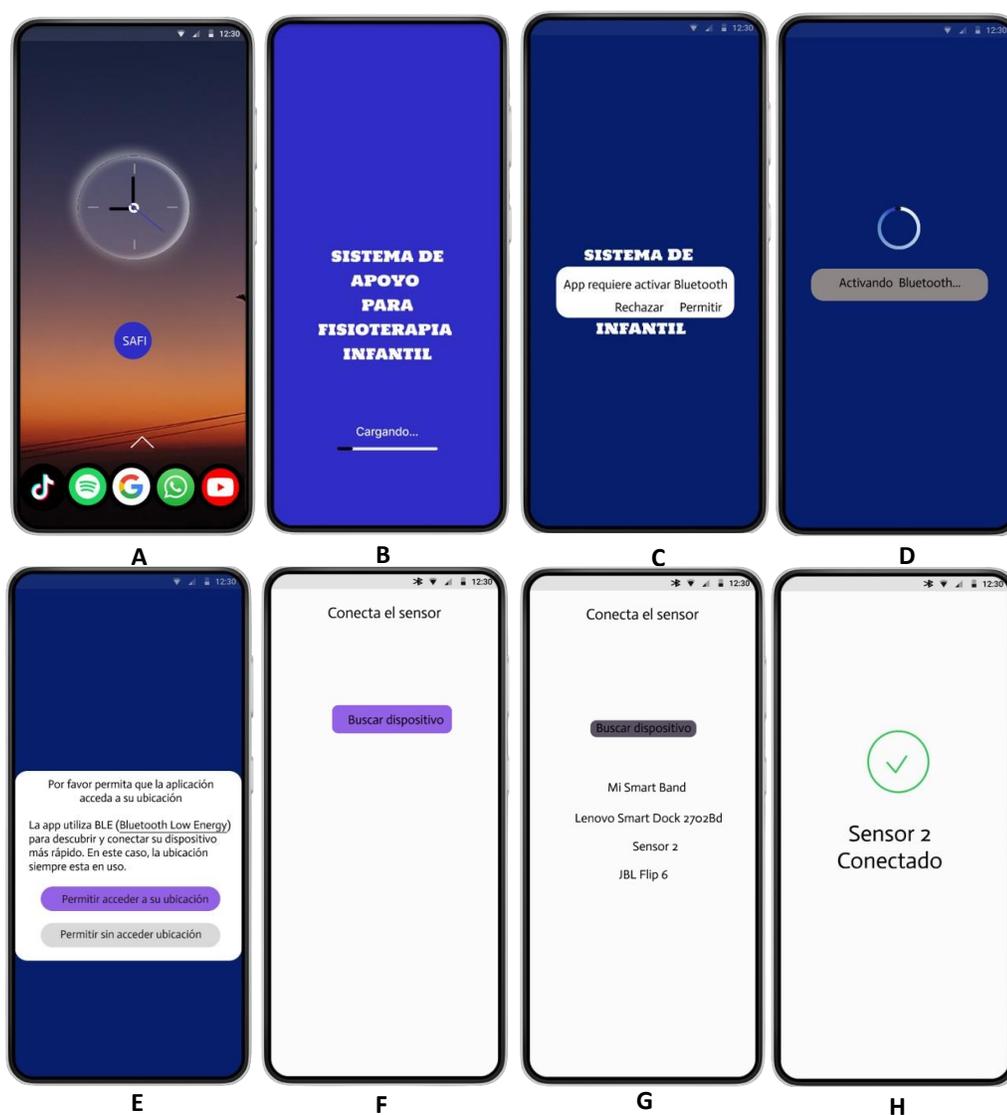


Figura 8. Las pantallas A y B son de inicio de la aplicación SAFI, las pantallas C, D y E son pantallas de encendido de Bluetooth y las pantallas F, G y H son de búsqueda y conexión con el sensor.

Una vez iniciada la aplicación, se le solicitarán permisos al usuario para activar la función Bluetooth con el fin de buscar los sensores. Una vez que el usuario concede los permisos, se inicia la búsqueda de los sensores disponibles. En esta fase inicial, el dispositivo inercial se identifica como “**sensor 2**” como se muestra en la figura 8 (H). Cuando el usuario seleccione el sensor 2 podrá escoger uno de los tres tipos de ejercicios (Aducción-abducción de cadera, flexión-extensión de rodilla, flexión-extensión de rodilla) definidos para trabajar con el infante. La pantalla de este menú de selección se muestra en la figura 9.

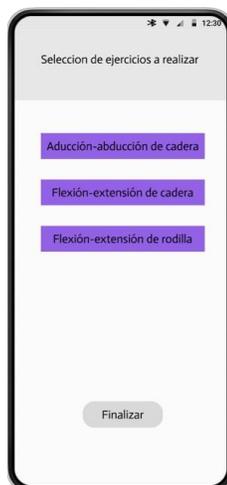


Figura 9. Pantalla de menú de la interfaz SAFI para la selección de 3 tipos de ejercicios a realizar.

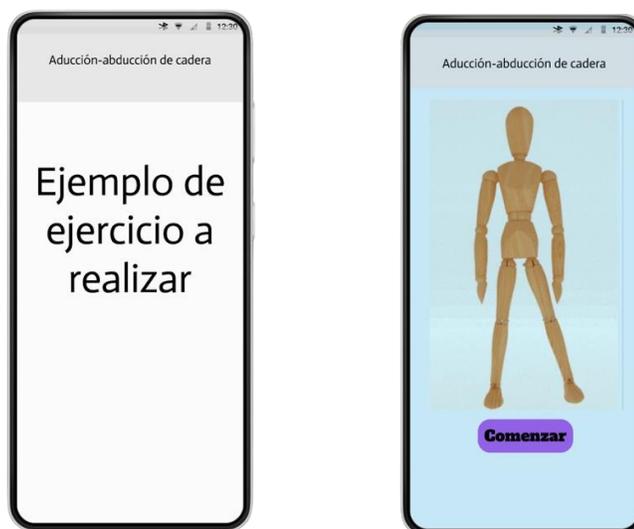


Figura 10. Pantalla de la interfaz SAFI en donde se muestra cómo realizar un ejercicio de fisioterapia mediante la visualización de una animación.

Antes de iniciar con un set de ejercicios, en la interfaz se muestra una cuenta regresiva que sirve como guía para que el usuario se posicione adecuadamente con la extremidad que va a trabajar (ver figura 11). Una vez finalizada la cuenta regresiva, la interfaz mostrará mediante un contador la realización de cada ejercicio como se muestra en la figura 12, de esta manera el padre realizará los ejercicios de manera guiada.

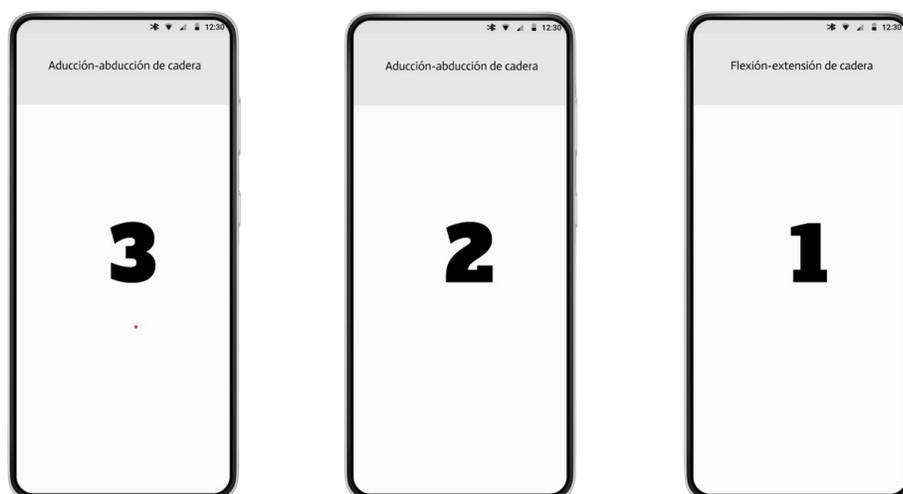


Figura 11. Pantallas de la interfaz SAFI que muestran un contador regresivo previo a iniciar un set de ejercicios de fisioterapia.



Figura 12. Pantallas de la interfaz SAFI que muestran el contador de ejercicios que se deben realizar durante una sesión de fisioterapia.

En cada ejercicio realizado por el usuario, se llevará a cabo una evaluación que se mostrará en la interfaz del celular respecto a si se está ejecutando de manera adecuada el ejercicio, tal como se muestra en las pantallas **A** y **B** en la figura 13. En cambio, si se está ejecutando el ejercicio de manera incorrecta, se mostrarán las pantallas **C** y **D**.

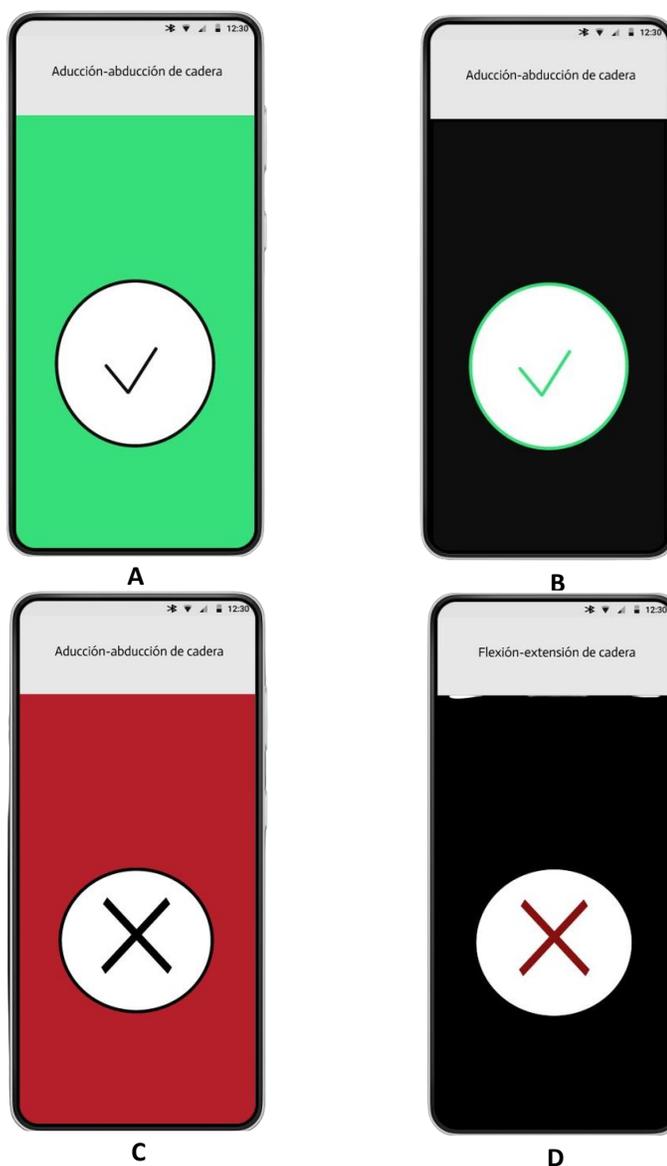


Figura 13. Modo de retroalimentación visual de la interfaz SAFI: A y B corresponden al ejercicio realizado de manera correcta, C y D es la representación de ejercicios realizados de manera incorrecta.

Para efectos de evaluación por parte del usuario, en esta versión de la aplicación se establecieron un total de 10 repeticiones a realizar por cada tipo de ejercicio seleccionado. Una vez finalizado el set de ejercicios, se muestra al usuario un resumen indicando la cantidad de ejercicios realizados correcta e incorrectamente, tal como se muestra en la figura 14.

Cuando el usuario haya decidido finalizar el uso de la aplicación como apoyo para la realización de los ejercicios de fisioterapia, tendrá la oportunidad de evaluar su nivel de satisfacción percibido al usar la aplicación como se muestra en la figura 15.

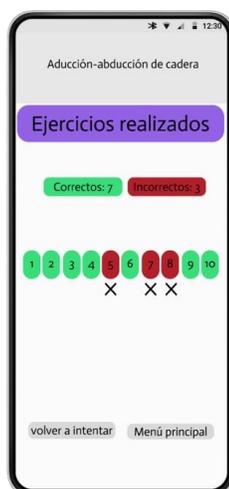


Figura 14. Pantalla de la interfaz SAFI mostrando la clasificación de los ejercicios realizados de manera correcta e incorrecta.

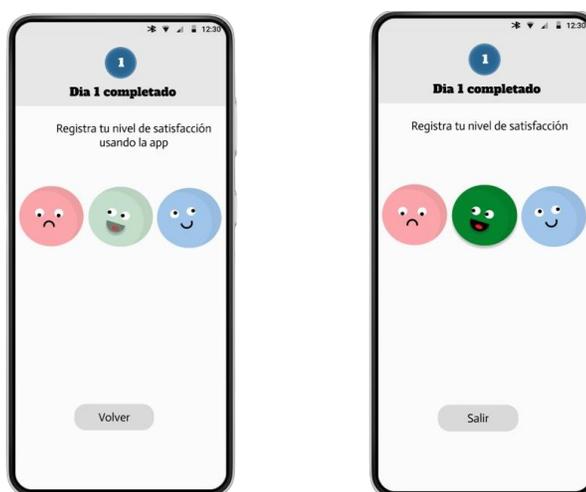


Figura 15. Clasificación de nivel de satisfacción de uso de la interfaz SAFI, como método de evaluación de usabilidad.

Con estas funciones que se implementaron a la interfaz para la simulación de una aplicación móvil, se procederá a pre-evaluar la interacción con participantes mediante el desarrollo de un grupo focal para obtener retroalimentación y mejorar la interfaz en desarrollo.

4.3 Desarrollo del grupo focal

En la implementación del grupo focal se reclutaron a padres de familia con hijos pequeños (quienes no

necesariamente tienen alguna discapacidad psicomotriz), los cuales representan un grupo relevante para evaluar el prototipo de media fidelidad. Este enfoque nos acerca en gran medida a obtener los requerimientos necesarios para evaluar en el CRIT la interacción del sistema final propuesto. En esta actividad participaron un total de 12 padres de familia, diferentes de aquellos con los que se trabajó en la entrevista semi-estructurada, para una pre-evaluación de la interfaz para la aplicación móvil SAFI. A este grupo se le presentó la interfaz de la simulación de la aplicación, para después discutir las características más adecuadas de acuerdo con las necesidades detectadas.

Tabla 3. Número de padres de familia que participaron en el grupo focal.

Centro	Participantes
Particulares	Padres de familia (n=12)

El objetivo de la actividad fue analizar y validar la manera de ofrecer la retroalimentación al usuario, contemplando dos alternativas obtenidas del estudio contextual. La primera alternativa es la retroalimentación visual y la segunda alternativa es una retroalimentación por audio. Para esta actividad se abordaron los siguientes temas:

1. Percepción sobre el uso de tecnologías en la fisioterapia.
2. Funcionalidades del sistema.
3. Interacción con la interfaz.
4. Tipo de beneficios del sistema en la fisioterapia.
5. Modo de retroalimentación.

Para evaluar la primera versión de la interfaz para la aplicación, se plantearon preguntas basadas en los requerimientos obtenidos del estudio contextual (Anexo C). Esta pre-evaluación de las funciones de la aplicación se llevó a cabo para poder realizar cambios en el prototipo respecto al modo de ofrecer la retroalimentación durante las sesiones de fisioterapia. Para desarrollar el planteamiento de las preguntas que buscan responder los temas descritos anteriormente, se consideraron los siguientes puntos:

1. Conocer las diferentes perspectivas y puntos de vista de los usuarios que permitan obtener características de diseño para el desarrollo final de una interfaz.
2. Identificar el beneficio que tiene el uso de las aplicaciones móviles en la realización de fisioterapia.
3. Identificar los posibles problemas que pueden surgir durante el uso del sistema.
4. Evaluar el sistema propuesto con las siguientes alternativas para el modo de retroalimentación de la interfaz: visual, auditiva y el momento más adecuado para ofrecer la retroalimentación cuando se lleve a cabo la realización de los ejercicios.

El desarrollo de la actividad se llevó a cabo con el conocimiento previo de las necesidades detectadas de los padres de familia durante el estudio contextual. Se presentó a los participantes el prototipo desarrollado, explicando las funciones de la aplicación móvil y cómo debe ser usado. Posteriormente, los participantes realizaron ejercicios utilizando el maniquí mostrado en la figura 16, junto con la aplicación móvil como herramienta de retroalimentación para verificar la correcta realización de los ejercicios de fisioterapia infantil.



Figura 16. Maniquí utilizado por los participantes del grupo focal para la realización de ejercicios de fisioterapia.

Se realizaron dos iteraciones para la realización de los ejercicios. En la primera iteración, los participantes usaron la aplicación con la retroalimentación visual. En la segunda iteración los participantes utilizaron la

aplicación que ofrece una retroalimentación audiovisual. Después de haber realizado los ejercicios, se realizaron las preguntas hacia el participante para la retroalimentación de uso del sistema. Después de la retroalimentación se le entregó al participante un cuestionario SUS para evaluar la usabilidad del sistema presentado. La actividad realizada tuvo una duración promedio de 30 minutos por participante. Finalmente, con esta estructura se logró comparar ambos modos de retroalimentación en la realización de ejercicios lo cual generó los resultados que a continuación se explican.

4.3.1 Análisis de datos del grupo focal

Es necesario estudiar la utilidad del sistema propuesto para validar su usabilidad como una herramienta de apoyo. Por esta razón se recopilieron las opiniones de los participantes para conocer la postura respecto al sistema mostrado, las cuales son analizadas a continuación.

4.3.1.1 Percepción sobre el uso de las tecnologías en la fisioterapia

El total de los participantes del grupo focal considera al sistema presentado como una herramienta útil que servirá de apoyo en la realización de ejercicios al poder ofrecer retroalimentación de los movimientos que se efectúen con el infante. Este porcentaje se muestra en la figura 17 en la forma de una gráfica tipo pastel.

4.3.1.2 Funcionalidades del sistema

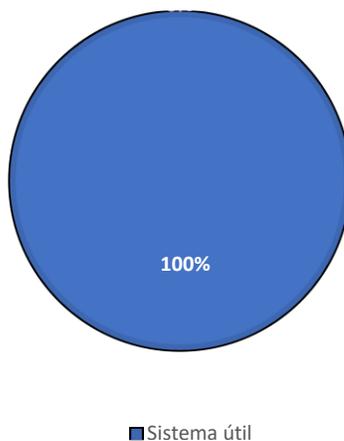


Figura 17. Respuesta de los participantes del grupo focal respecto a la percepción de utilidad del sistema

Las características presentadas en el sistema fueron evaluadas por los participantes para determinar su

utilidad o relevancia para efectuar una función. Las funciones que la aplicación presenta son:

- Ejemplo de ejercicios a realizar mediante la presentación gráfica en vídeo.
- Retroalimentación visual y auditiva de ejercicios bien y mal realizados.

De los resultados que se presentan en la figura 18, el 75% de los participantes coincidieron que las funciones que presenta el sistema son adecuadas. Al 16.66% de los participantes no les agradó el audio utilizado en el sistema para avisar cuando se realizan movimientos erróneos, recomendando cambiar el audio a un sonido más agradable. Un participante (8.33%) menciona que deberían establecerse tiempos para la realización de ejercicios.

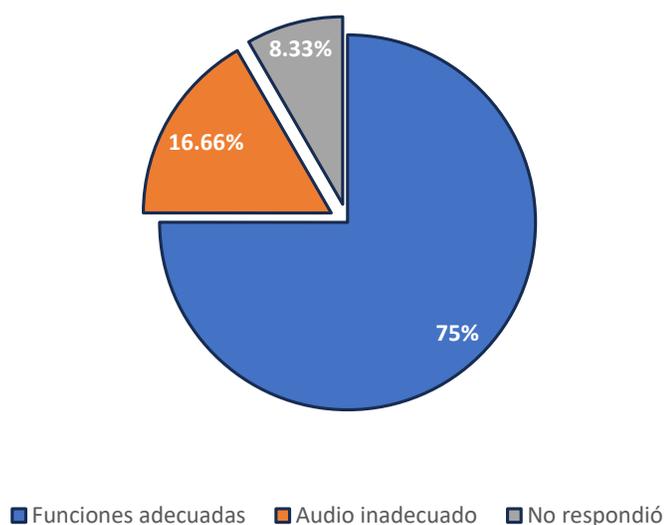


Figura 18. Respuesta de los participantes del grupo focal respecto a las funcionalidades presentadas en la interfaz para una aplicación móvil llamada SAFI.

En la figura 19(A) se muestra una comparativa entre la retroalimentación visual y la retroalimentación auditiva. Se observa que el 83.66% de los participantes presta mayor atención al infante cuando realiza los ejercicios usando la aplicación con el modo de retroalimentación por audio.

Por otro lado, el 16.66% de los participantes se enfocaron en visualizar la aplicación aun cuando ésta proporcionaba retroalimentación por audio. En el caso del uso del sistema con el modo de retroalimentación visual, el 100% de los participantes prestó atención a la aplicación móvil y no al infante, tal como se reporta en la figura 19(B).

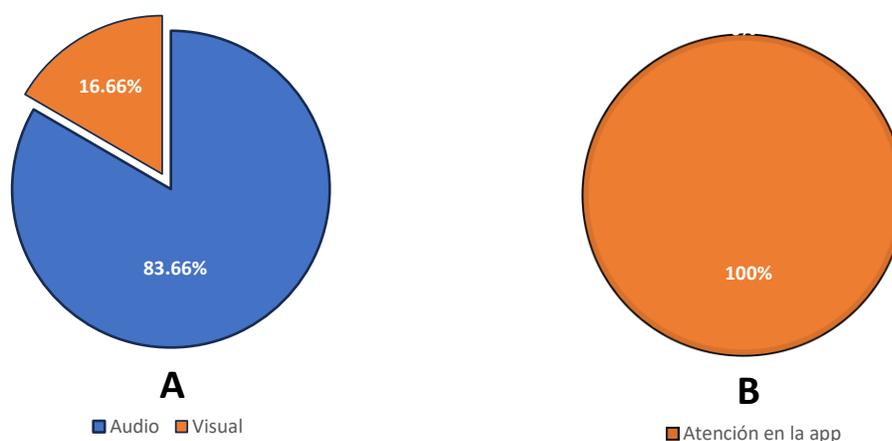


Figura 19. Atención ofrecida al infante al momento de realizar un ejercicio utilizando la interfaz para la aplicación SAFI: A representa la retroalimentación audiovisual y B representa la retroalimentación visual.

En cuanto a las funciones que los participantes recomendaron se pudieran agregar a la aplicación, el 58.33% de los participantes sugirieron implementar las funciones mencionadas en la figura 20(B).

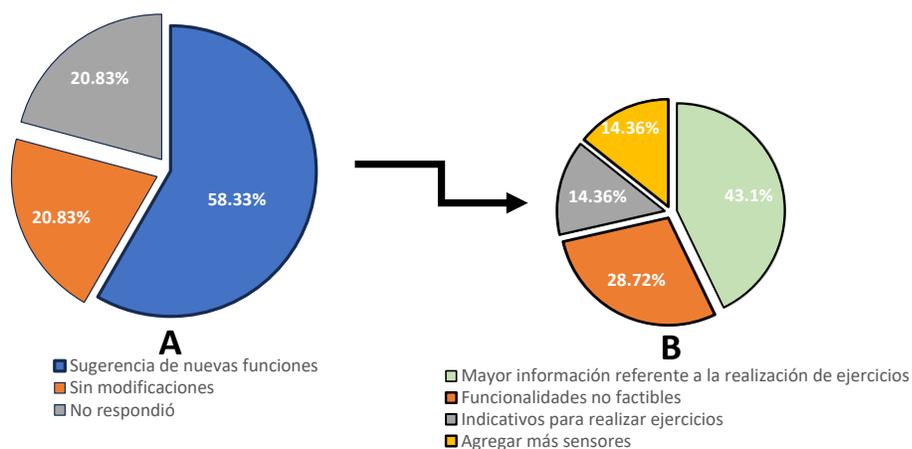


Figura 20. Respuesta de los participantes que usaron la interfaz para la aplicación SAFI: A representa a los participantes que proporcionaron sugerencias de nuevas funciones y B representa la clasificación de las funciones.

Tal como se presenta en la figura 20(B), el 25% de los participantes coincide en que el sistema debería de mostrar más información referente a los tipos de ejercicios que se realizan, por ejemplo: tutoriales que expliquen más a detalle cómo debe realizarse cada movimiento de los ejercicios y enlaces externos que conduzcan a páginas para informarse más acerca de la discapacidad del infante. Como mencionan algunos participantes:

- “Sí hizo falta si como explicar bien si debes de hacer una pausa o sea si vas a seguir acompañado de la aplicación, así como que lo vas a poner un lado de ti, si debe de haber una pausa para ir junto con la aplicación, si debe de tomar una pausa o si tu simplemente lo sigues haciendo hasta que termine las 10 aplicaciones que te muestra la pantallita, que otra cosita, como te mencione un poco de explicación para que sirva cada ejercicio que te ayuda a fortalecer o que vas a desarrollar o en que te puede ayudar en cada una de los diferentes ejercicios que puede uno hacer, igual algo breve y si acaso a lo mejor incluir algún enlace a algo más detallado en caso de que si quieres indagar más al respecto”.
- “Primeramente, yo creo que agregaría un pequeño tutorial donde también los mismos sensores nos ayuden a colocar el sensor en el niño yo creo que también es ese miedo de que si el sensor está haciendo bien su trabajo porque este bien o no bien colocado”.

Un 8.33% de los participantes refiere que se debe agregar un indicativo para la realización de ejercicios, específicamente el implementar algún tipo de luces en el sensor para ver directamente al sensor cuando se esté efectuando el ejercicio.

Dentro de las funcionalidades que no es factible implementar en este trabajo de tesis por las características propuestas para el sistema, el 16.66% de los participantes sugiere que debe de implementarse en el sistema una retroalimentación auditiva que indique con voz la corrección de la posición de los movimientos de ejercicios que se realicen. Esto queda fuera de las funciones que presenta nuestro sistema de sensores. Sin embargo, es un área de oportunidad el cual pudiera trabajarse como trabajo a futuro.

En cuanto a los beneficios que creen que se pudiera obtener con las funciones implementadas, el total de los participantes del grupo focal menciona que se obtiene un refuerzo en la realización de ejercicios al tener una herramienta guía en las sesiones de fisioterapia.

4.3.1.3 Interacción con el sistema

La interfaz de la aplicación móvil proporciona una interacción mediante el uso de símbolos de control como un checklist (ver figura 13) el cual, valida el ejercicio realizado. Cuando el ejercicio se realiza correctamente se muestran las pantallas **A** o **B** de la figura 13 con el símbolo “√”. Por otro lado, cuando un ejercicio es mal realizado se muestran las pantallas **C** o **D** de la figura 13 con el símbolo “X”.

En otra versión de la aplicación se implementó retroalimentación con audio además de proporcionar también retroalimentación visual. Son dos tipos de audio utilizados, una representa la validación de un ejercicio realizado de manera adecuada y la segunda el rechazo de haber realizado de manera adecuada el ejercicio.

Como se muestra en la figura 21(A) del total de los participantes, el 25% coincide en que no es necesario realizar cambios en la interfaz del sistema. Cito de manera textual comentarios de los participantes:

- “En lo que usamos no, me parece bien porque te da la opción al momento de iniciar, o sea el poder saber cómo es que vas a empezar hacer el ejercicio y me parece bien la opción de que puedas mirar y decidir tú cuando vas a empezar el ejercicio, o sea de que ya te sientes segura de cómo lo vas hacer”.

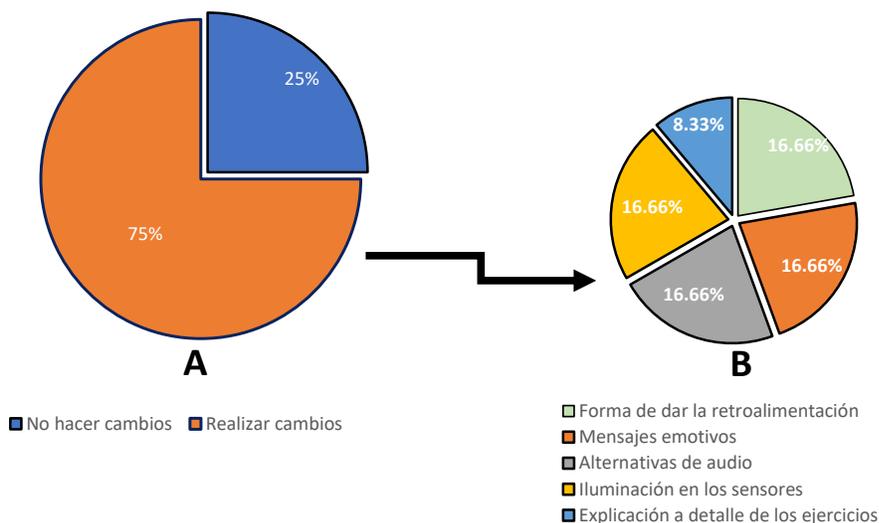


Figura 21. Respuesta de los participantes del grupo focal sobre la interacción de la interfaz y el sistema: A representa el porcentaje de los participantes que sugieren realizar cambios en la interfaz para la aplicación y B representa las sugerencias de cambio a implementar.

Sin embargo, el 75% de los participantes del grupo focal sugirió realizar cambios (figura 21(A)). Los cambios sugeridos se mencionan en la figura 21(B) que representa al 75% de los participantes que sugirió cambios los cuales se mencionan a continuación:

- 16.66% de los participantes propone realizar modificaciones a la interfaz gráfica para hacerlo más agradable al momento de mostrar si se realizó de manera adecuada el ejercicio.

- 16.66% de los participantes sugiere mostrar mensajes motivadores cuando se realiza un ejercicio de manera incorrecta.
- 16.66% de los participantes comenta que la interacción con el audio es molesta, por ello se debería buscar alternativas para que este sea menos agresivo.
- 16.66% de los participantes refieren necesitar una retroalimentación visual en donde se implemente una interacción mediante el uso de iluminación en los mismos sensores como indicativo de la realización adecuada de los ejercicios.
- 8.33% de los participantes sugiere explicar más a detalle cómo se deben realizar los movimientos en el video de la explicación del ejercicio.

Con respecto a la percepción de utilidad de interacción con las funciones presentadas ante los participantes de la app SAFI que se muestra en la figura 22, del total de los participantes del grupo focal se tienen las siguientes respuestas:

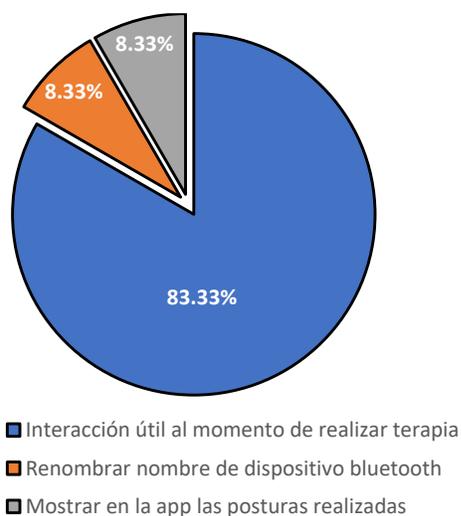


Figura 22. Respuesta de los participantes del grupo focal respecto a la utilidad de la interfaz para la aplicación SAFI en la fisioterapia.

- 83.33% coinciden que el modo de ofrecer la interacción resulta útil al momento de realizar los ejercicios de fisioterapia.

Dos participantes comentaron lo siguiente:

- “Si porque te das cuenta que hiciste algo mal y lo tratas de hacer bien no, o sea vuelves en el siguiente ejercicio tratar de hacer los movimientos bien”.
- “Si, sí o sea se me hace sobre todo útil que te corrijan y entonces uno se da cuenta que está haciendo mal el ejercicio”.

Respecto a este punto, una persona sugiere renombrar el nombre del dispositivo Bluetooth, ya que sintió que fue un poco difícil saber cuál era el dispositivo a conectarse cuando estaba interactuando con la aplicación móvil. Otra persona externó su preocupación respecto al modo en cómo se flexionan las extremidades inferiores del infante, mencionando que sería necesario mostrar en la aplicación las posturas que se estén efectuando y que sea ahí en la aplicación donde se muestre si la extremidad se está tomando de manera adecuada. Una persona no respondió a la pregunta realizada.

En cuanto a los beneficios que el sistema pudiera proporcionar al ser utilizado como herramienta de apoyo en la realización de ejercicios de fisioterapia, estos se presentan en la figura 23. Del total de participantes:

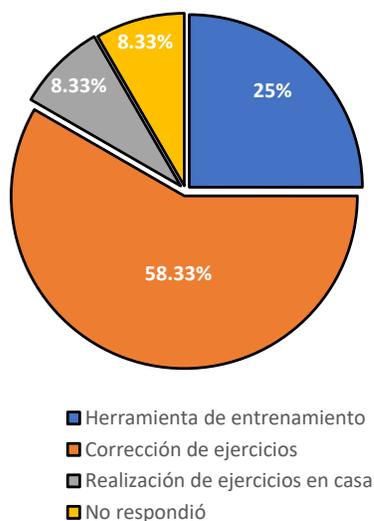


Figura 23. Beneficios que los participantes del grupo focal ven en la interfaz para la aplicación SAFI al ser usada como una herramienta de apoyo de fisioterapia.

- 58.33% coincide en que el obtener una retroalimentación de los ejercicios que se realizan puede corregir los ejercicios mal realizados, lo cual se considera un beneficio.

- 25% de los participantes considera que el sistema servirá como una herramienta de entrenamiento.
- 8.33% de los participantes considera que el beneficio de utilizar el sistema de sensores es que se podrá realizar desde casa los ejercicios, con lo cual consideran se obtendrán mejoras más significativas y rápidas.

En cuanto a la similitud que la interfaz gráfica de usuario de la aplicación móvil muestra comparado con alguna otra aplicación que el participante utilice en su vida cotidiana, del total de los participantes:

- 33.33% refirió no encontrar alguna similitud con alguna otra aplicación móvil.
- 33.33% coincidió en encontrar una similitud con respecto a otras aplicaciones que utilizan, específicamente aplicaciones móviles para la realización de ejercicios físicos.
- 16.66% de los participantes comentó que si encontró una similitud con otras aplicaciones que han utilizado sin especificar en qué sentido.
- 16.66% de los participantes dijo conocer la función de Bluetooth para conectarse a dispositivos como un parlante.

En cuanto a ciertas características que pudieran retomarse de las aplicaciones que utilizan cotidianamente, dos personas respondieron al respecto:

- La primera persona menciona en que se debe implementar un sistema que utilice la cámara del móvil para realizar un análisis visual del niño y ver si los sensores están bien colocados. Además de colocar códigos QR en los pies y con eso detectar un patrón.
- Otra persona comenta que se debería poder guardar el progreso de los ejercicios realizados para registrar el avance en la mejora de la realización de fisioterapia.

4.3.1.4 Tipo de impacto del sistema en la fisioterapia

Los resultados respecto al impacto que el sistema pudiera generar al ser utilizado como una herramienta

de apoyo en donde la retroalimentación se ofrece en una aplicación con una interfaz son mostrados en la figura 24. Del total de los participantes del grupo focal:

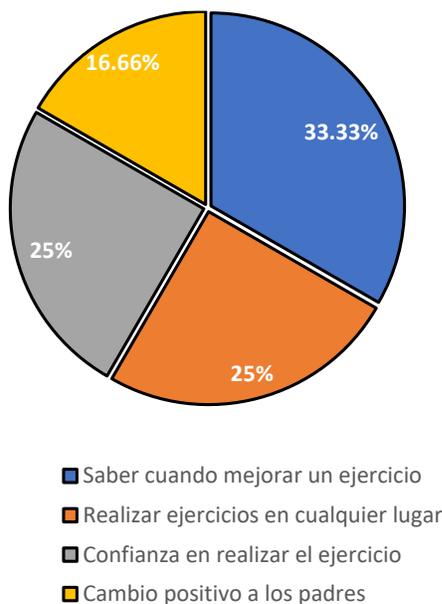


Figura 24. Posibles beneficios al utilizar una aplicación móvil como herramienta de apoyo en la fisioterapia.

- 33.33% coincide en que se obtendrá un impacto positivo al poder saber cuándo se está haciendo un ejercicio de manera incorrecta y con la retroalimentación se podrá mejorar la sesión de terapia física.
- 25% de los participantes coincide en que la realización de los ejercicios será más fácil ya que los padres podrán hacer el ejercicio en el lugar que se encuentren y eso sería de gran ayuda.
- 25% de los participantes coincide en que al momento de utilizar el sistema y obtener la retroalimentación con la aplicación móvil tendrán confianza al realizar los ejercicios con el infante.

También se obtuvieron comentarios de dos participantes quienes opinaron lo siguiente:

- Uno de los participantes refiere que el refuerzo se da con la utilización de la aplicación en la realización de los ejercicios y esto generará un cambio positivo hacia los padres de familia.
- Otro participante menciona que el beneficio será positivo al poder ayudar a los pacientes que lo requieran.

También se preguntó a los participantes cuáles pudieran ser los posibles impactos negativos que consideran podrían surgir al utilizar la aplicación móvil para ofrecer la retroalimentación. Tal como se muestra la figura 25.



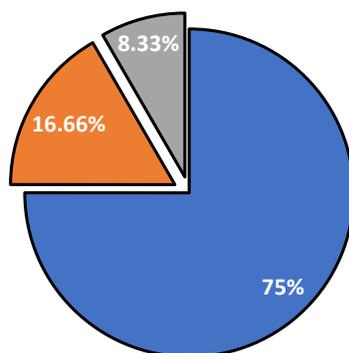
Figura 25. Resultado de los participantes del grupo focal respecto al impacto que podrían surgir con el uso de una aplicación móvil en la fisioterapia.

En este punto hubo respuestas muy variadas, las cuales se explican a continuación:

- 33.33% de los participantes coincide en que el sistema pudiera impactar de manera negativa al ofrecer una retroalimentación errónea por alguna falla de los sensores.
- 16.66% de los participantes no ve en la aplicación móvil un impacto negativo.
- En cuanto al impacto negativo que los participantes pudieran percibir se tiene que:
 - 8.33% comenta que si se utiliza la aplicación móvil esto generaría problemas con padres inseguros, debido a que al estar evaluando los ejercicios realizados y que se les indicase que los están haciendo mal, se les podría inhibir el querer continuar realizando la actividad.
 - 8.33% refiere que las personas pudieran sentir culpabilidad al tener el equipo de apoyo en casa y no querer realizar los ejercicios con el infante.

- 8.33% menciona que al tener la aplicación en casa ya no querrán asistir con especialistas.
- 8.33% ve como desventaja el tener que utilizar un dispositivo móvil, ya que le preocupan las características tecnológicas que este deba tener para poder conectarse con los sensores.
- 8.33% refiere que un cambio negativo pudiera surgir de algunas personas que no les gusta utilizar tecnologías en la rehabilitación.
- 8.33% no respondió respecto al tema.

En cuanto al impacto positivo que pudiera generar una retroalimentación por audio de la app SAFI, se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 26 y mencionados a continuación:



■ Beneficio positivo ■ Infantes asociarán el sonido con los ejercicios ■ Otra respuesta

Figura 26. Ventajas positivas que encuentran los participantes del grupo focal al tener un sistema que ofrezca retroalimentación por audio.

- 75% de los participantes coincide en que una retroalimentación por audio beneficia de manera positiva al tener un audio que indique cuando se realiza un ejercicio sin tener que estar observando la aplicación.
- 16.66% de los participantes menciona que el uso del audio ayudará a los infantes a realizar de la mejor manera los ejercicios de fisioterapia, coinciden en que los infantes asocian los sonidos con cada ejercicio realizado y eso ayudará a mejorar la interacción entre el padre y el infante para las sesiones fisioterapéuticas.

- 8.33% considera que una ayuda visual como la mostrada en el video demostrativo de cómo realizar el ejercicio, es necesaria para que los usuarios puedan ver cómo se lleva a cabo el movimiento de cada tipo de ejercicio.

Respecto al beneficio que pudiera generarse al tener un sistema de retroalimentación visual, hubo respuestas muy variadas. Los cuales se reportan a continuación:

- Una persona recomienda que, conforme se vaya moviendo la extremidad del infante se mantenga un color verde en la interfaz y cuando se esté realizando un ejercicio de manera incorrecta varíe el color representando un nivel de advertencia.
- Otra persona considera importante los videos previos del modo de realizar el ejercicio para saber cómo realizar esos movimientos.
- Una persona menciona que no habría un beneficio positivo, ya que al realizar los ejercicios la persona tiene que estar atenta al infante y por ello prefiere una retroalimentación por audio.
- Otra persona refiere que el beneficio positivo se daría si en los sensores se pudiera presentar la retroalimentación para estar más concentrada con el infante.

4.3.1.5 Modo de retroalimentación

En la figura 27 se presentan los resultados respecto a en qué momentos sería más adecuado ofrecer la retroalimentación a los participantes. Del total de los participantes del grupo focal:

- 66.66% coincide en que la retroalimentación entre cada ejercicio es adecuada. De esta manera, los participantes pueden darse cuenta en el mismo instante si están realizando mal el ejercicio y poder corregir los movimientos del mismo.
- 16.66% comenta que prefiere tener los resultados al finalizar la serie de ejercicios.
- 16.66% propone establecer metas durante una sesión de fisioterapia. Es decir, se debe completar un número de ejercicios bien realizados para después dar la retroalimentación y validar el ejercicio.

- 16.66% propone establecer metas durante una sesión de fisioterapia. Es decir, se debe completar un número de ejercicios bien realizados para después dar la retroalimentación y validar el ejercicio.

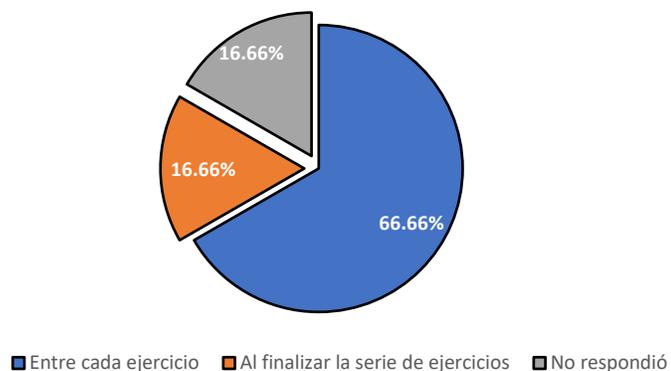


Figura 27. Modo en que se debe ofrecer la retroalimentación cuando se realiza una sesión de fisioterapia utilizando una interfaz.

4.3.1.6 Resultados del Cuestionario SUS del grupo focal

Para la primera evaluación utilizando el cuestionario de usabilidad participaron los 12 padres de familia que anteriormente realizaron la actividad del grupo focal. Cada padre respondió el cuestionario SUS y se calculó la puntuación individual. Después, se obtuvo la media de los 12 participantes con lo cual se obtuvo un puntaje de usabilidad del sistema del 76.72, tal cual se muestra en la figura 28. Con este puntaje se valida la aceptación por parte de los usuarios objetivos. Sin embargo, es necesario realizar modificaciones a la interfaz presentada para mejorar el puntaje y validar el objetivo del sistema propuesto.

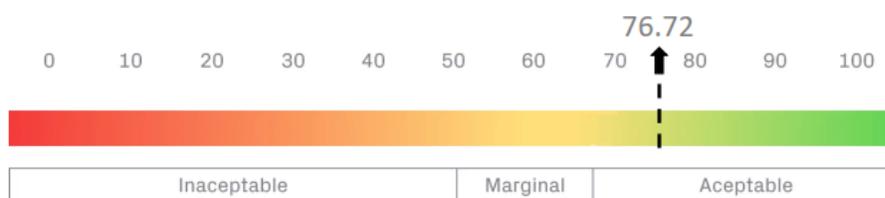


Figura 28. Puntaje obtenido del cuestionario SUS al ser aplicado a los participantes del grupo focal.

4.4 Resumen del grupo focal

El grupo focal se utiliza para obtener información de un grupo de personas representativas sobre un tema de interés. Esto permite obtener diferentes perspectivas, opiniones y experiencias del tema en estudio.

De ahí es posible obtener ideas de diseño además de cambios que deben realizarse en el sistema siempre teniendo en cuenta la participación directa de los usuarios objetivos. En la primera iteración de evaluación de la simulación de una aplicación móvil (SAFI) por parte de los participantes del grupo, se encontró que el 100% de los participantes coincide en que es un sistema útil y el 67% de los participantes coincidieron en que las funciones presentadas son adecuadas. Cabe mencionar que al realizar la evaluación se obtuvieron muchas ideas sobre funcionalidades que pudieran implementarse al sistema de sensores de movimiento para la detección de movimientos corporales para apoyo de fisioterapia en infantes. Sin embargo, las ideas se alejan demasiado de la funcionalidad principal considerada para el sistema desarrollado en este trabajo. Por ello, se recomienda que se aborden como trabajo futuro.

4.5 Sesiones de diseño con expertos en diseño de sistemas centrados en el usuario

Para hacer mejoras en la interfaz de la aplicación móvil SAFI, se realizó una sesión de diseño con dos expertos en diseño de sistemas centrados en el usuario. La sesión se llevó a cabo en el departamento de Ciencias de la Computación del CICESE. Se les dio una breve explicación de las funciones que presenta la aplicación y el modo de operación para ofrecer la retroalimentación con los usuarios siguiendo la estructura presentada en la figura 29.

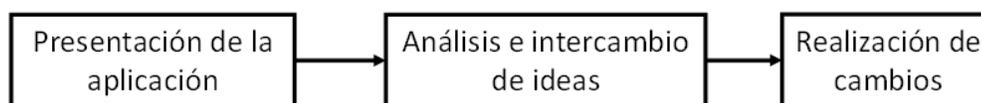


Figura 29. Estructura seguida para la sesión con expertos en Diseño de sistemas centrados en el usuario.

La primera experta en diseño de sistemas, la Dra. Ana Isabel Martínez García, revisó la interfaz de la aplicación y recomendó realizar varias modificaciones sobre el aspecto de la interfaz. Por ejemplo, el mantener un mismo color en los botones y enmarcar los iconos de los mensajes, esto para evitar que el usuario se sienta confundido por la diversidad de colores en los botones de la aplicación. Además, recomendó implementar un tutorial que explique cómo el usuario debe utilizar la aplicación, ya que considera que los padres necesitan apoyo durante las primeras sesiones de uso.

En cuanto a la presentación de las animaciones para que el usuario visualice cómo realizar los ejercicios, la experta recomienda realizar un video explicativo en donde se indique como se debe realizar el ejercicio. Esto facilita que los usuarios comprendan mejor cómo llevar a cabo la fisioterapia con el infante.

La segunda experta en diseño de sistemas centrados en el usuario, la M.C. Marisela Hernández Lara, realizó las siguientes observaciones:

- El uso de videos debe mostrarse de manera adecuada en la interfaz para que el usuario pueda visualizar claramente los movimientos mostrados.
- Se debe agregar una función que permita al usuario volver a ver el video tantas veces como sea necesario, es decir, no se debe limitar la posibilidad de retroceder en las ventanas de la app.

4.5.1 Propuesta de cambios

Al realizar la sesión de grupo focal y la sesión de diseño de sistemas con expertos, se obtuvieron como resultado una serie de requerimientos de cambios y adiciones que deben ser implementados en la aplicación propuesta. Del análisis de los datos obtenidos, se considera importante incluir un esquema de retroalimentación de tipo audio para la evaluación de los movimientos. Esto se debe a que, en el proceso de evaluación de la aplicación móvil utilizando la técnica Mago de Oz, se observó que el 83% de los participantes trabajan mejor cuando reciben una retroalimentación por audio durante la realización de los ejercicios. Además, se considera necesario incluir vídeos que expliquen claramente cómo deben realizar el ejercicio el padre o cuidador del infante, ya que un 25% de los participantes considera que se requiere mostrar más información referente a los tipos de ejercicios que se realizan.

En cuanto al diseño de la interfaz de la aplicación, se deben realizar cambios en la presentación gráfica donde se da la retroalimentación, puesto que el 16.66% considera que se debe mostrar una interfaz más agradable. Una de las sugerencias hechas por los participantes es que cuando se proporciona retroalimentación sobre los ejercicios realizados incorrectamente, se implemente una función que ofrezca un mensaje motivacional para el usuario, esto para evitar generar temor o estrés y asegurar que el usuario se sienta más cómodo utilizando la aplicación móvil. Por último, se deberá implementar en la aplicación un tutorial inicial de uso para que los usuarios se familiaricen con el sistema y con el uso de tecnologías como una herramienta de apoyo en la realización de fisioterapia con infantes.

4.6 Implementación de cambios a la interfaz para una aplicación móvil SAFI

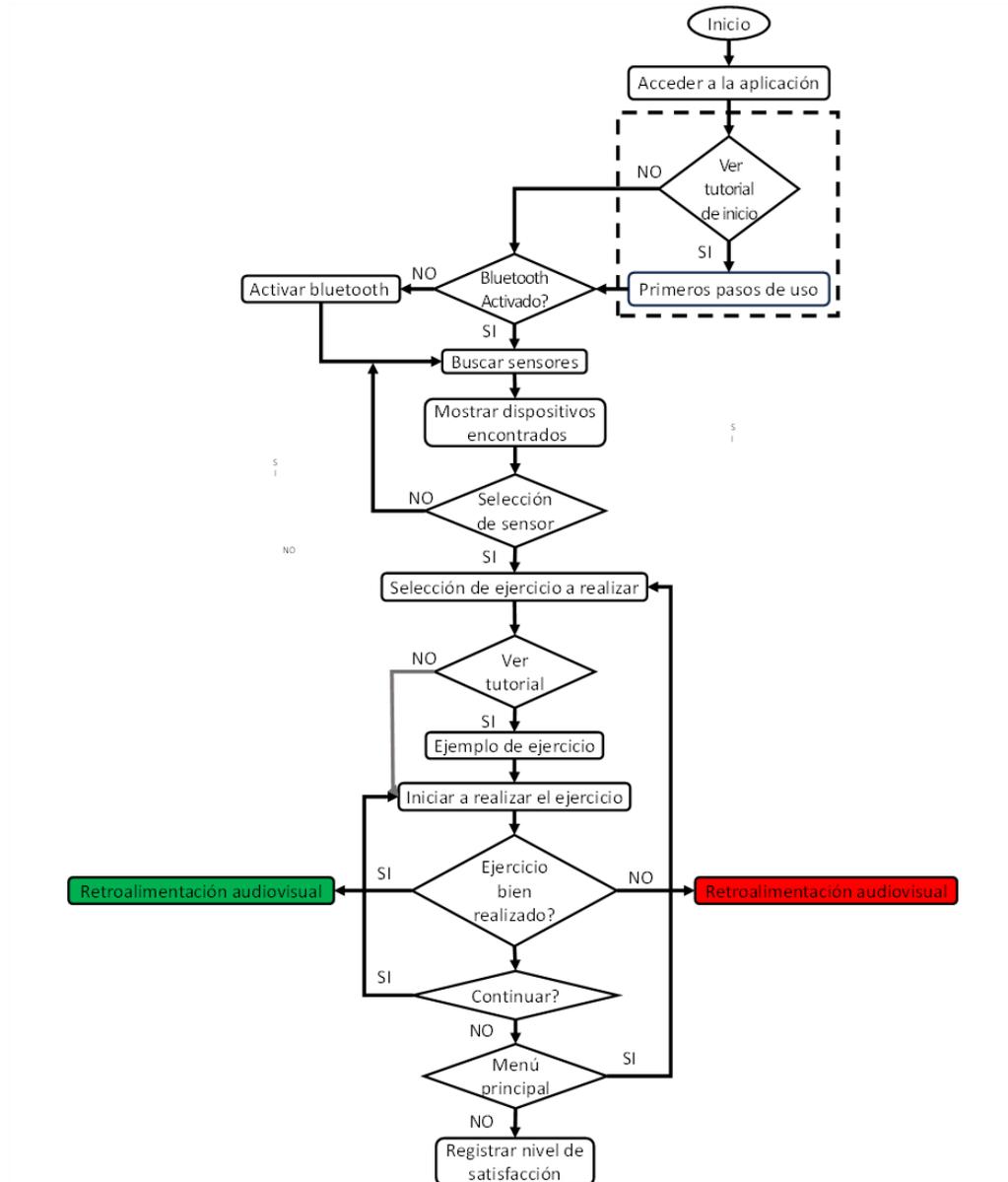


Figura 30. Diagrama de flujo de la segunda versión de la app móvil SAFI implementado para las evaluaciones finales.

Después de analizar los datos obtenidos de las evaluaciones previas y de las sesiones de diseño con expertos, se realizaron los cambios necesarios a la interfaz de la aplicación móvil para mejorar su usabilidad. Estos cambios incluyen una reorganización de la disposición de los elementos visuales, como recuadros y botones, haciendo una simplificación de los procesos de navegación en la app SAFI. Además, se incorporaron nuevas funcionalidades basadas en las sugerencias de los usuarios y expertos.

En la figura 30 se presenta el diagrama de flujo que representa las funciones implementadas en la nueva versión del diseño del sistema de la aplicación móvil. Este diagrama ofrece una visión clara de cómo la estructura ofrecerá la interacción entre el usuario y la aplicación. Los cambios están diseñados para validar una experiencia más fluida y satisfactoria por parte de los usuarios al utilizar una aplicación como herramienta de apoyo.

A continuación, se explica el funcionamiento de la app SAFI. Primero al tomar el celular se mostrará el icono de la aplicación móvil como se muestra en la figura 31. El usuario podrá explorar las características y funciones que la aplicación le proveerá cuando lo use para la realización de fisioterapia.



Figura 31. Interfaz de inicio de la segunda versión de la simulación de la app móvil SAFI.

Al seleccionar la aplicación, se le mostrará la opción para ver un tutorial sobre cómo usar la aplicación como se muestra en la figura 32(A). El tutorial de primeros pasos tiene como objetivo enseñar al usuario cómo utilizar la aplicación de manera efectiva. Al visualizar el tutorial como se muestra en la figura 32, el primer paso explica cómo se deben colocar los sensores en la extremidad del infante. En el segundo paso (como se presenta en la figura 32(B)) se muestra el proceso de inicio de la aplicación y que se requiere activar la función Bluetooth en el dispositivo móvil.

Una vez activada la función Bluetooth que se muestra en la figura 32(F), la aplicación procede a la búsqueda de los sensores. Al encontrar un sensor, este se conectará y se mostrará un mensaje confirmando la conexión. En el tercer paso (figura 32(I)) se presenta al usuario los tres tipos de ejercicios que el sistema puede evaluar, permitiendo al usuario comenzar con la fisioterapia.

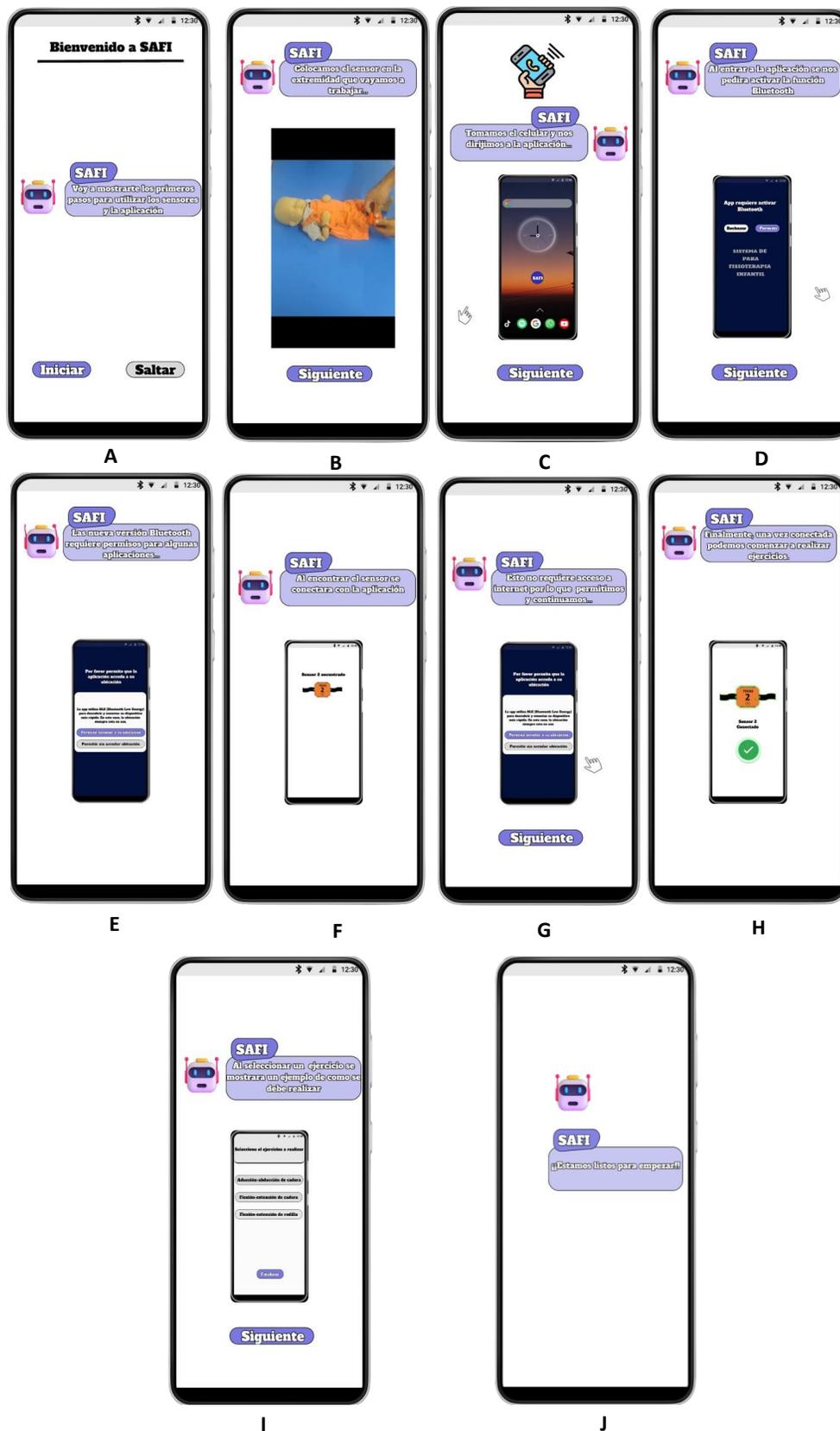


Figura 32. Tutorial de primeros pasos de uso de la segunda versión de la interfaz de la simulación de la app llamada SAFI donde se indica los pasos a seguir para la utilización adecuada de la aplicación junto con los sensores inerciales para la detección de movimiento en la realización de ejercicios de fisioterapia en infantes.

Después de que el usuario haya completado la visualización de los primeros pasos de uso por primera vez, podrá continuar interactuando con la aplicación. En este punto, se le solicitará activar la función Bluetooth como se muestra en la figura 33(A). Una vez que los permisos hayan sido otorgados, el usuario podrá proceder a buscar los sensores para establecer conexión.



Figura 33. Solicitud de permiso para activar la función Bluetooth y búsqueda de los sensores inerciales de la segunda versión de la interfaz de la simulación de la app SAFI.

Una vez que el usuario se ha conectado al sensor, en la pantalla se despliegan los 3 tipos de ejercicios que se pueden realizar usando la aplicación, como se muestra en la figura 34.A. El usuario tiene la libertad de elegir con cual ejercicio comenzará la fisioterapia para el infante. Una vez seleccionado el ejercicio, se mostrará un video explicativo para demostrar la correcta realización del ejercicio seleccionado. El usuario

tendrá la opción de volver a ver el video en caso de que así lo requiera, lo que proporcionará flexibilidad y apoyo adicional durante la realización de la terapia.

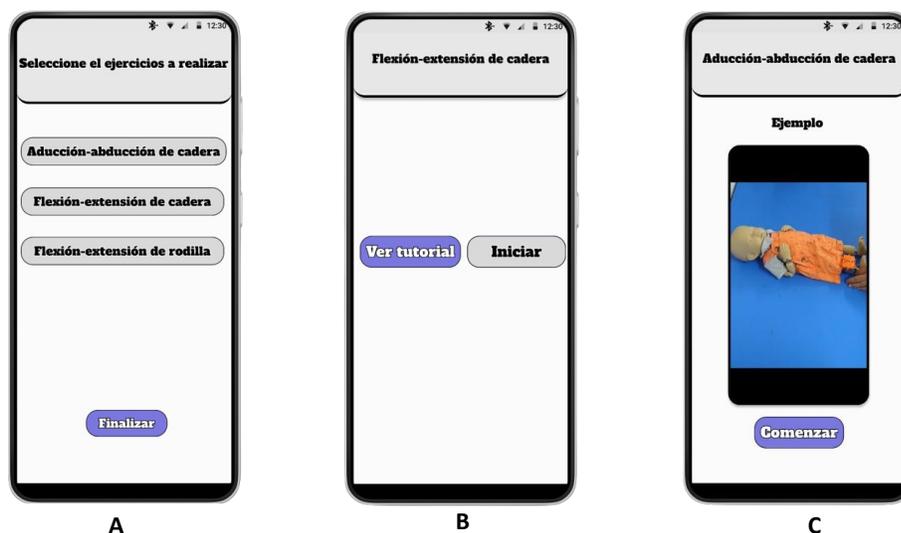


Figura 34. Menú principal de la segunda versión de la interfaz SAFI: A se corresponde a la interfaz de los tipos de ejercicios presentados en la aplicación, B y C se corresponden al tutorial sobre cómo realizar la fisioterapia.



Figura 35. Interfaz de retroalimentación de la segunda versión de la simulación de la aplicación SAFI: A y C indican si el ejercicio se realizó de manera correcta y B es la referencia previa a la clasificación de los movimientos.

Una vez que el usuario esté listo para comenzar a realizar el ejercicio seleccionará el botón “comenzar”. A partir de ese momento, el usuario comenzará a realizar el ejercicio y en cada movimiento la aplicación estará evaluando cada ejercicio. Cuando el ejercicio se clasifique como correcto se mostrará la figura 35(A).

En caso de que el ejercicio se haya realizado de manera incorrecta se mostrará la figura 35(C). En la figura 35(B) se presenta en la interfaz antes y después de la clasificación, sirviendo como referencia entre cada ejercicio que se esté realizando.

Una vez que el usuario haya completado una serie de ejercicios según considere necesario, tendrá la opción de volver al menú principal para continuar con otro tipo de ejercicio o revisar el video de ejemplo en caso de que no esté realizando de manera correcta el ejercicio. Cuando el usuario haya finalizado todos los ejercicios deseados, podrá seleccionar la función “finalizar”. En ese momento, la aplicación le mostrará la interfaz para evaluar la experiencia de uso, tal como se muestra en la figura 36(A). El usuario evalúa su experiencia con la aplicación móvil y es así como finaliza el uso de la aplicación móvil.

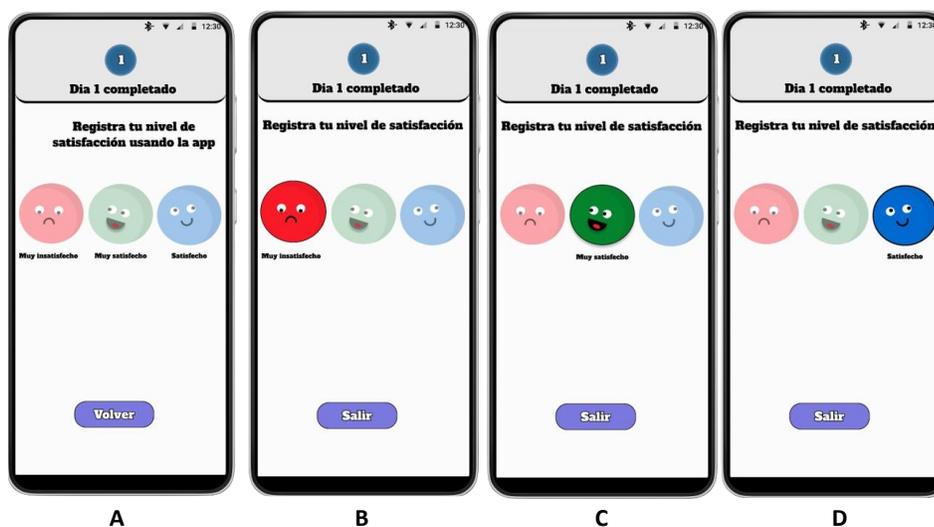


Figura 36. Pantallas de la interfaz que representan la evaluación de satisfacción de uso de la segunda versión de la simulación de la app SAFI.

4.7 Resumen del diseño, prototipado y mejora de la interfaz para una aplicación móvil SAFI y la pre-evaluación inicial

En este capítulo, se presentó la implementación de un grupo focal para discutir las funciones de la interfaz gráfica de usuario para el sistema de sensores inerciales. Además, se llevó a cabo una sesión de diseño con expertos en el área de diseño de sistemas centrados en el usuario, lo que permitió realizar cambios y mejoras a la interfaz de la aplicación móvil SAFI propuesta en este trabajo. Los cambios implementados se basaron en las recomendaciones y comentarios obtenidos durante las sesiones de grupo focal y la revisión con expertos en el diseño de sistemas centrados en el usuario. Esto permitió mejorar el diseño de la

interfaz para una aplicación móvil SAFI. Posteriormente, los cambios fueron evaluados en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón de Tijuana, Baja California, México.

Capítulo 5. Evaluación del diseño de la interfaz para la app móvil SAFI en el CRIT-Tijuana

5.1 Introducción

La evaluación de la interfaz del sistema de sensores como herramienta de apoyo en la fisioterapia se llevó a cabo en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT) de la ciudad de Tijuana. Para esto, se reclutaron a 11 padres de familia que realizan ejercicios de terapia física en el CRIT-Tijuana. Todos los participantes reclutados son diferentes de las participaciones en las actividades anteriores. El objetivo de estas evaluaciones fue validar si las implementaciones realizadas favorecen el modo en cómo los padres pueden recibir retroalimentación, sin que el uso de las tecnologías entorpezca las sesiones de fisioterapia.

5.2 Objetivos

Los puntos que se evaluaron para la interfaz de la aplicación móvil para el sistema de sensores de detección de movimientos para el apoyo de fisioterapia en infantes fueron los siguientes:

1. Validar los requerimientos obtenidos de evaluaciones previas.
2. Validar el modo de retroalimentación en la realización de cada ejercicio utilizando audio como esquema de semaforización.

Los temas que se evaluaron son los siguientes:

1. Percepción sobre el uso de tecnologías en la fisioterapia.
2. Funcionalidades de la aplicación.
3. Interacción con la interfaz.
4. Beneficios del uso de la aplicación en la fisioterapia.

5. Modo de retroalimentación.

Se realizaron preguntas que se formularon en el desarrollo del grupo focal (Anexo C), dado que las preguntas planteadas son las adecuadas para realizar evaluaciones de manera iterativa. El análisis de los datos obtenidos se realizó mediante la técnica de la teoría fundamentada. A continuación, se describen los resultados obtenidos de las evaluaciones.

5.3 Resultados de la evaluación de la interfaz para una aplicación móvil

llamada SAFI

Una vez recabada la información se procedió a realizar el análisis de la misma. Primero, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del tema de percepción de uso de las tecnologías en la fisioterapia. Continuando con la presentación de resultados del tema de las diferentes funciones integradas en la app SAFI. Después se presentan los resultados del tema de la interacción que se tuvo entre los padres del CRIT y la aplicación utilizada.

Continuando con los resultados obtenidos se presenta el tema de los posibles beneficios que los padres del CRIT percibieron en la app SAFI presentada. Finalmente se presentan los resultados del tema de modo de interacción que les pareció más adecuado a los padres del CRIT.

5.3.1 Percepción sobre el uso de tecnologías en la fisioterapia

El uso de las tecnologías puede ser desafiante cuando desconocemos cómo utilizarlas. Por ello, se presentó a los participantes un sistema con los requerimientos obtenidos de estudios previos que son implementados en el diseño de la interfaz de la aplicación móvil. Los participantes utilizaron y evaluaron la interfaz del sistema para después obtener retroalimentación en cuanto a la utilidad percibida sobre la herramienta desarrollada para ser utilizada en la fisioterapia. Los resultados se presentan en la figura 37 y se detalla a continuación:

- 100% coincide que la retroalimentación es de gran utilidad para evaluar los ejercicios que se realizan en la fisioterapia.

Además, hubo un 18.18% de los participantes que agregó que el sistema es innovador.

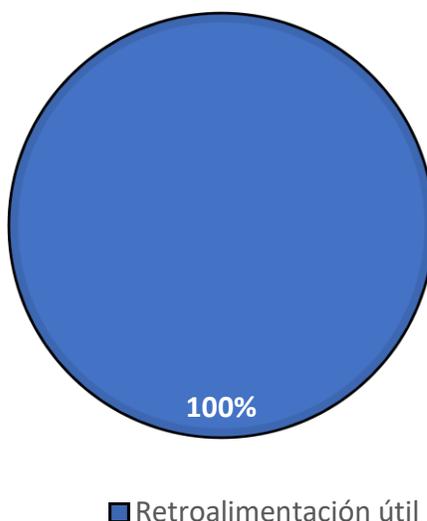


Figura 37. Utilidad percibida por parte de los padres utilizando un sistema tecnológico en la fisioterapia.

En general, los participantes consideran que la aplicación cumplía su función al ofrecer una retroalimentación en la realización de ejercicios. Con lo cual se valida que el sistema juega un papel importante en la rehabilitación de fisioterapia infantil.

5.3.2 Funcionalidades del sistema

Las funciones que la aplicación móvil tiene son:

- Ofrecer una retroalimentación por audio cuando se realizan movimientos de fisioterapia.
- Complementar dicha retroalimentación con una ayuda visual al presentar iconos de acuerdo a la clasificación de los movimientos,
- Mostrar videos explicativos respecto a cómo se debe realizar el ejercicio de fisioterapia que se haya seleccionado.

Se evaluaron estas funcionalidades, obteniendo los siguientes resultados mencionados a continuación.

Respecto a las funcionalidades que los participantes notaron, destaca el modo de ofrecer retroalimentación:

- El 100% de los participantes realizó comentarios positivos acerca de la aplicación y su manera de ofrecer la retroalimentación para la corrección de los ejercicios.
- El 90% de los participantes coincidió en que la aplicación mostrada fue agradable, al referirse que no hubo algo que pudiera afectar la manera en cómo llevaron a cabo la actividad.

De los comentarios positivos que se muestran en la figura 38, se ve que:

- El 63.63% de los participantes mencionan que al realizar un ejercicio y ser evaluado por la aplicación ellos sabían que debían de realizar mejor el ejercicio.
- Un 27.27% agregó que la aplicación fue sencilla de utilizar al no tener muchos pasos para ser manipulada.
- Un 9.1% de los participantes refirieron que el implementar videos sobre cómo realizar ejercicios lo hace muy práctico.

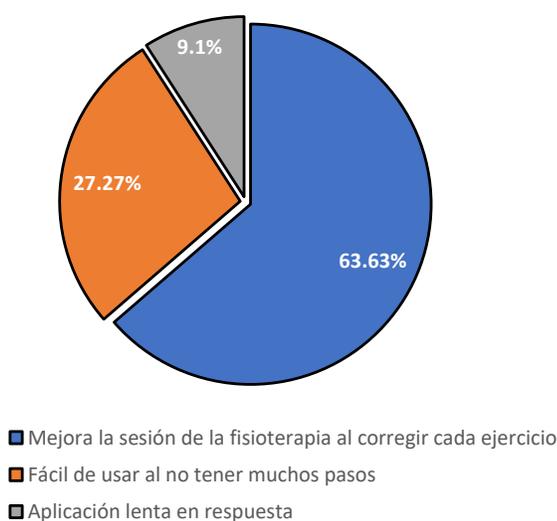


Figura 38. Comentarios positivos respecto a la interfaz de la aplicación al ser usado por los padres del CRIT.

Solo una persona mencionó que sintió que la interacción de la interfaz fue algo lenta, pese a que las letras eran entendibles, pero algo borrosas entre la transición de ventanas. Esto se debe a que la herramienta usada para diseñar el mockup utiliza el Protocolo de Internet para visualizar la aplicación en el dispositivo móvil y esta es la causa de que se observe cierto retraso en la interacción.

5.3.3 Interacción con la interfaz

Se evaluó la interacción de la aplicación al momento de realizar fisioterapia para validar la utilidad del sistema como una herramienta de apoyo. Los resultados obtenidos se mencionan a continuación.

Sobre el modo de interacción entre la aplicación y los participantes:

- El 100% coincide en que la interacción ofrecida por la interfaz de la aplicación es de gran utilidad para la realización de ejercicios de fisioterapia.
- También, el 100% de los participantes mencionó que no se tuvo ninguna dificultad al momento de utilizar la aplicación.

Los participantes, coinciden que la interacción entre una aplicación móvil y el uso de sensores para la clasificación de la realización de ejercicios como correctos o incorrectos es adecuada para ser utilizada en fisioterapia. Destacando que, se observó una participación activa al utilizar la herramienta para la realización de ejercicios de fisioterapia. En la evaluación del sistema se realizaron preguntas sobre los posibles cambios que los participantes consideren que se tengan que realizar de acuerdo a su percepción en la interacción. Los resultados de estas preguntas se muestran en la figura 39. Del total de los participantes:

- El 65% menciona que el sistema es adecuado y que no realizaría cambios.
- El 35% de los participantes dio sugerencias de funciones que pudieran agregarse a la aplicación.

Respecto al segundo punto, una sugerencia que realizaron fue el agregar una función que avise por qué se realizó mal el ejercicio y que sea mediante voz la corrección de los mismos. Un participante sugiere incorporar más información para poder ayudar al infante y finalmente otra participante sugiere que sería adecuado que los pasos a seguir que la aplicación muestra se puedan reproducir por audio, esto como una opción para las personas que no puedan entender las indicaciones escritas que tenga la aplicación. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de este trabajo es evaluar la manera en cómo el sistema ofrece una retroalimentación en la clasificación de los movimientos que se realizan en la fisioterapia. Es decir, la función principal que el sistema tiene es el indicarle al usuario si realizó bien o mal el ejercicio, debido a que el algoritmo que se ha diseñado solo tiene esa función. No obstante, estos

requerimientos serán considerados como trabajo a futuro, por lo cual eventualmente pudieran ser implementados para enriquecer las capacidades del sistema.

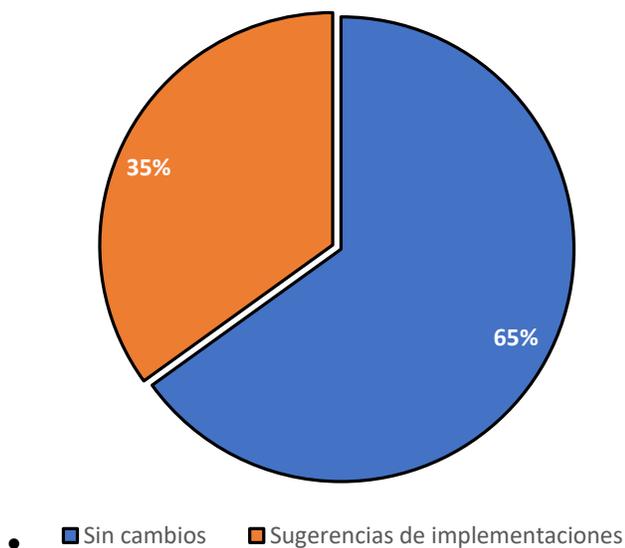


Figura 39. Porcentaje de participantes que sugieren vs no sugieren realizar cambios en la interfaz de la aplicación SAFI por parte de los padres del CRIT.

Los resultados de la similitud de la app móvil SAFI con respecto a las aplicaciones que los participantes utilizan cotidianamente se muestran en la figura 40.

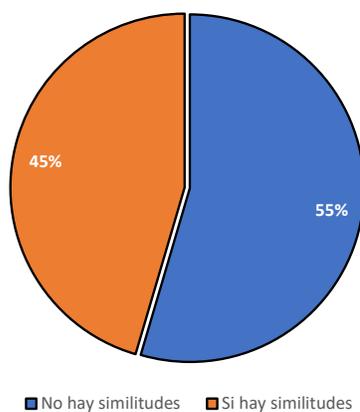


Figura 40. Similitud de la interfaz de la aplicación SAFI con respecto a las aplicaciones que los participantes usan cotidianamente.

Del total de los participantes:

- El 55% mencionó que no encontraron similitudes.

- El 45% mencionó que sí notó similitudes con otras aplicaciones.

Del grupo de personas que afirmó haber notado similitudes de la aplicación con respecto a otras, una persona mencionó haber encontrado similitud con redes sociales, otra persona mencionó que la función de Bluetooth integrado en el celular lo conocía y otra persona comentó que al igual que en otras aplicaciones se debe aceptar los requerimientos que pida la aplicación.

5.3.4 Beneficios del uso del sistema en la fisioterapia

En cuanto a los beneficios que pudiera generar el utilizar esta herramienta en las sesiones de fisioterapia, se destaca que el total de los participantes coincide en que el principal beneficio sería el tener una herramienta que determine si estás realizando un ejercicio de manera adecuada y que ellos puedan corregir al momento la postura de la extremidad que se esté rehabilitando.

También se evaluaron las consecuencias negativas que las personas pudieran percibir al utilizar esta herramienta en la fisioterapia, las cuales son mostradas en la figura 41.

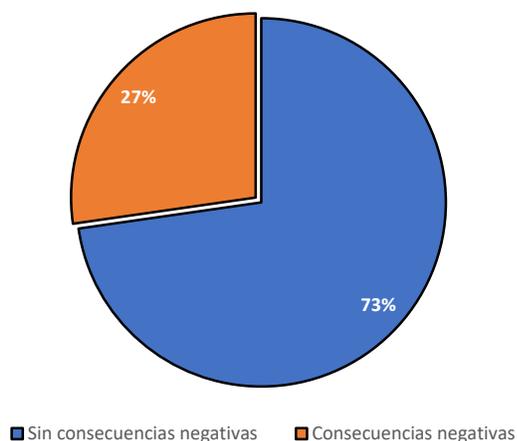


Figura 41. Porcentaje de participantes que mencionan posibles consecuencias al utilizar la interfaz de la aplicación SAFI como herramienta de apoyo en la realización de fisioterapia en casa.

El 72% de los participantes negó que pudieran generarse consecuencias negativas por usar la herramienta. Sin embargo, el 27% refirió que habría consecuencias negativas en caso de que la herramienta no funcione de manera adecuada y esto genere un sesgo entre lo que el especialista dicta y lo que la aplicación muestra.

Además, una persona mencionó que en caso de que se llegue a utilizar la herramienta de apoyo para la fisioterapia en casa, las personas ya no querrán asistir a los centros de rehabilitación, con lo que sustituirá a los especialistas de la salud. Por ello, es muy importante recalcar que la herramienta que se está desarrollando no busca, ni buscará ser un sustituto de los profesionales de la salud, al contrario, se busca que esta herramienta sea un complemento para que los padres o cuidadores de infantes puedan llevar a cabo la fisioterapia en casa contribuyendo al bienestar infantil.

5.3.5 Modo de retroalimentación

En cuanto a la información recabada sobre el modo de obtener la retroalimentación usando la app SAFI, el 81.82% de los participantes considera que es adecuada la retroalimentación por audio (ver figura 42), ya que dependiendo del sonido que escuchen podrán saber cuándo están haciendo el ejercicio de manera incorrecta.

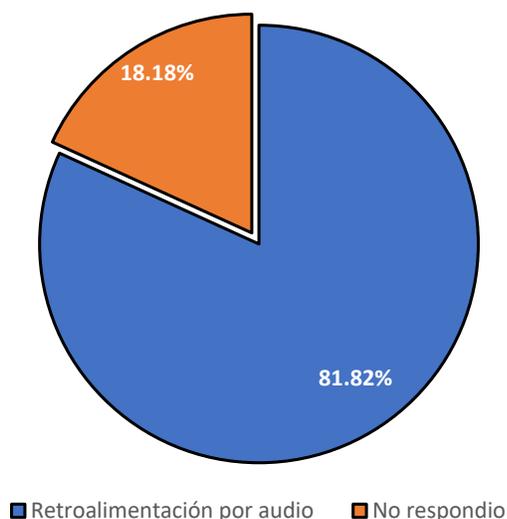


Figura 42. Modo preferido para obtener retroalimentación a través de la interfaz para la aplicación SAFI respecto a la realización correcta o incorrecta de ejercicios.

Además, una persona menciona que el utilizar sonidos como medio de retroalimentación ayudará a que el infante pueda relacionarlo con los movimientos que esté realizando y el infante apoyará en realizar el ejercicio. Recordemos que el tener una discapacidad psicomotriz a causa de una parálisis cerebral no afecta la capacidad intelectual.

Por lo que el participante menciona que el utilizar este tipo de herramientas apoyará tanto a los padres como a los infantes a tener una mejor sesión de fisioterapia en casa. Una persona menciona que es importante obtener una retroalimentación con un tipo de voz y que indique si se hizo bien el ejercicio. Un 18.18% de los participantes no respondió a la pregunta. En cuanto a una retroalimentación visual para la realización de fisioterapia, estos porcentajes son presentados en la figura 43. El 45.45% de los participantes coinciden en que el tener videos previos para visualizar cómo se debe llevar a cabo el ejercicio ayudaría a mejorar la sesión de fisioterapia, ya que estos videos son una guía en comparación con una imagen o texto. El 18.18% menciona que el ver la pantalla y observar los cambios que se genera en la pantalla entre el ejercicio que se realiza ayuda a mejorar la sesión.



Figura 43. Comentarios respecto al modo de retroalimentación visual de la interfaz para la aplicación SAFI.

Sin embargo, un participante menciona que al realizarse un ejercicio se está atento al infante y no al celular, por lo que no siente que una retroalimentación visual sea adecuada al momento de realizar fisioterapia. Otro participante solo menciona que sí sería positivo el implementar una retroalimentación visual. Respecto al momento en cual se debe de ofrecer retroalimentación cuando se está realizando la fisioterapia, el 90.90% de los participantes (ver figura 44) refiere que es adecuado que el sistema esté dando un resultado entre cada ejercicio que se le esté realizando al infante.

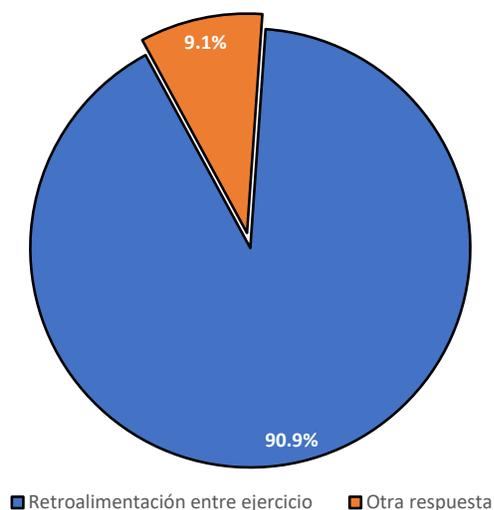


Figura 44. Tiempo para ofrecer retroalimentación de la interfaz para la aplicación SAFI considerado como más adecuado por los padres del CRIT.

Algunas razones del porqué los participantes mencionan que es bueno tener una respuesta entre cada ejercicio son:

- Si se está realizando una serie de ejercicios y al finalizar nota que todos los ejercicios no se realizaron adecuadamente tendría que volver a realizarlos.
- Otro participante menciona que en caso de que no conozca si está haciendo de manera adecuada al momento el ejercicio, se estaría dañando físicamente al infante.
- Una persona comenta que es importante que se ofrezca un resultado de los ejercicios realizados de manera adecuada.

5.3.6 Resultados del Cuestionario SUS en la evaluación de la app SAFI realizada en el CRIT



Figura 45. Evaluación del cuestionario SUS para la interfaz de la aplicación SAFI realizado en el CRIT.

Para la evaluación del cuestionario participaron los 11 padres de familia en la evaluación de la interfaz de la app SAFI. En la evaluación de usabilidad para esta iteración se obtuvo un puntaje del 85.07 como se muestra en la figura 45.

El puntaje obtenido valida las características implementadas en la aplicación para el sistema desarrollado.

5.4 Discusión de los resultados obtenidos de la evaluación en el CRIT

La evaluación de la interfaz del sistema de sensores como herramienta de apoyo en la realización de terapia física implementada en el CRIT permitió validar los requerimientos obtenidos de evaluaciones previas. Los padres de familia coincidieron en la utilidad de la retroalimentación proporcionada por la app SAFI durante la ejecución de ejercicios. Las funciones como los primeros pasos de uso, videos explicativos y modo de ofrecer la retroalimentación implementadas revelaron una aceptación positiva por parte de los padres. Destaca la efectividad de la retroalimentación por audio, ya que de esta manera el padre se puede enfocar en atender al infante y no distraerse durante la ejecución de los ejercicios. También, resalta la utilidad de los videos explicativos, ya que estos permiten visualizar la manera en cómo se debe realizar cada movimiento antes de realizar el ejercicio. Estas funciones contribuyen a mejorar la experiencia de uso de la aplicación lo cual se traducirá en una adopción adecuada de uso.

A pesar de que se reportaron algunos comentarios respecto a la velocidad de interacción de la interfaz debido a la utilización de plataforma Figma para la simulación, esto se debió a que se requiere de conexión a Internet para controlar ciertos cambios en la aplicación y la latencia fue la variable no considerada al momento de ser utilizado. Aun así, la mayoría de los participantes encontraron la aplicación fácil de utilizar y agradable.

Como en esta evaluación el enfoque se centró en validar la interacción entre el participante y la aplicación, todos los participantes coincidieron en que el sistema presentado es útil para ser usado como herramienta de apoyo en la realización de los ejercicios. Los participantes identificaron varios beneficios en la utilización de la app en la rehabilitación infantil como: la capacidad de determinar si se están haciendo de manera correcta los ejercicios y la posibilidad de corregir estos al momento de realizar la terapia física con el infante. Sin embargo, algunos padres expresaron un posible problema en caso de utilizar el sistema. Por ejemplo, expresaron su preocupación por la dependencia total en la app y que esto dé paso a la sustitución de los profesionales de la salud. Por ello es importante señalar que el desarrollo de esta herramienta tiene

como objetivo principal servir como apoyo en la realización de la terapia física infantil en casa. Dado que en este entorno no se cuenta con la presencia de un especialista de la salud, una herramienta de este tipo puede ser un respaldo valioso para padres de familia o cuidadores de infantes en la realización de la fisioterapia.

Tanto la retroalimentación por audio como la visual fueron valoradas positivamente por los participantes. En particular, se validó que la retroalimentación por audio es la más adecuada para guiar la realización de los ejercicios, mientras que los videos explicativos proporcionan una guía visual adicional. Asimismo, se valida que la retroalimentación debe darse entre cada ejercicio, ya que de esta manera el participante podrá corregir al momento el modo en cómo realiza el movimiento de acuerdo al ejercicio que esté realizando.

Finalmente, las evaluaciones de usabilidad utilizando el esquema del cuestionario SUS refleja una buena usabilidad de la app SAFI, lo cual valida las características implementadas en nuestra interfaz proporcionando una medida objetiva en cuanto a la satisfacción de uso. Los resultados obtenidos en la evaluación de la interfaz demuestran la importancia de continuar desarrollando y mejorando este tipo de herramientas tecnológicas que, de acuerdo a la investigación realizada, contribuyen en mejorar el modo de llevar a cabo sesiones de fisioterapia en infantes mejorando la calidad de atención.

Capítulo 6. Conclusiones

Este trabajo se enfocó en obtener las características necesarias para el diseño de la interfaz de una app móvil que tiene como objetivo ofrecer retroalimentación de la clasificación de movimientos de fisioterapia en infantes. En particular, el objetivo fue el diseño de la app de usuario de un sistema de sensores inerciales para la detección de movimientos desarrollado en dos tesis previas (Castro P., 2023; Rosales J., 2021) .

Para el diseño de la app, se implementó un estudio contextual en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT) de Tijuana con padres de familia y fisioterapeutas, esto con el fin de comprender el proceso que los padres realizan día a día con sus infantes para la rehabilitación mediante la realización de ejercicios de fisioterapia. Se implementaron técnicas de una investigación cualitativa para poder desarrollar el trabajo de investigación enfocado al diseño de sistemas centrados en el usuario. Esto permitió obtener información relevante acerca de las necesidades reales de los padres sobre la manera tradicional en la que realizan fisioterapia en casa. Características de diseño obtenidas en el desarrollo de un grupo focal y sesiones de diseño con expertos en diseño de sistemas centrados en el usuario permitieron mejorar la interfaz para la aplicación móvil. De las evaluaciones desarrolladas se realizaron las mejoras del sistema y con ello ofrecer bases sólidas que permitan una interacción con una interfaz adecuada como una herramienta de apoyo en la realización de ejercicios de fisioterapia.

A continuación, se describen las conclusiones obtenidas de este trabajo de investigación y las aportaciones sobre la generación de los requerimientos para el diseño de una interfaz para ofrecer retroalimentación utilizando un sistema de sensores inerciales para la realización de ejercicios de fisioterapia en infantes.

6.1 Conclusiones

6.1.1 Del estudio contextual

Para desarrollar e implementar una investigación para conocer a fondo al usuario final fue fundamental establecer el objetivo del estudio, las técnicas a utilizar para la recopilación y análisis de la información. En el estudio se buscó entender cómo los padres de familia realizan fisioterapia. Del estudio se identificaron las necesidades de uso de herramientas tecnológicas como apoyo en la realización de fisioterapia cuando

estas son llevadas a cabo en casa. El sistema que se propone en esta línea de investigación tiene las características idóneas para ser implementado como una herramienta de apoyo que permita ofrecer a los padres de familia retroalimentación cuando realizan movimientos de fisioterapia con los infantes. Debido a que la fisioterapia en infantes se utiliza como tratamiento de rehabilitación, los padres son encomendados a realizar la actividad todos los días. Se encontró que es necesario que los padres utilicen una herramienta de apoyo en la realización de los ejercicios en casa. Otro dato importante considerado para el uso de los sensores inerciales conectados a un dispositivo móvil, es que una tercera parte de los participantes utiliza un teléfono celular inteligente. Por ello se decidió desarrollar una aplicación para teléfonos celulares y con ello ofrecer la retroalimentación utilizando los sensores inerciales.

6.1.2 Del modo de ofrecer retroalimentación

El desarrollo de la aplicación móvil es necesario para proveer al sistema de sensores inerciales de una interfaz que permita la interacción entre el usuario y el sistema. Del estudio inicial realizado, el 60 % de los participantes refirió que una retroalimentación visual sería la adecuada al utilizar los sensores. Sin embargo, cuando los padres de familia utilizaron el sistema de sensores teniendo un esquema de retroalimentación visual, la mayoría no prestó atención al infante al momento de realizar los ejercicios. Esto representa una desventaja debido a que se corre el riesgo de lastimar al infante al no observar las extremidades al momento de realizar los ejercicios. Por ello, en este trabajo se propuso ofrecer la retroalimentación con un esquema audiovisual. Este esquema de retroalimentación permite al padre estar atento a los movimientos que realiza con el infante. Utiliza audio para proporcionar retroalimentación al padre sobre la ejecución de cada movimiento, indicando si es realizado correctamente o no. Así, el padre puede modificar el movimiento de la extremidad con la que está trabajando, corrigiendo y mejorando la forma en que se lleva a cabo la terapia física.

6.1.3 Del grupo focal

En el diseño de sistemas centrados en el usuario, el público objetivo debe estar en cada proceso del desarrollo. Por ello, fue fundamental reclutar a un grupo representativo de personas para intercambiar ideas sobre las posibles características a implementar en el sistema propuesto. En esta actividad, se abordaron diversos temas para evaluar el prototipo de media fidelidad y se validó la aceptación por parte de los participantes del uso de un sistema que proporciona retroalimentación sobre los ejercicios de

fisioterapia mediante el uso de un interfaz implementado en un dispositivo móvil. Además, se concluyó que, la mejor manera de ofrecer dicha retroalimentación es mediante un sistema audiovisual, ya que el participante presta atención al infante durante toda la sesión de fisioterapia, y tener solo un modo de retroalimentación no es de gran ayuda. Por ello, se estableció el uso de audio para la retroalimentación en el momento de realizar terapia física y la implementación visual para la explicación de los modos de la realización de los ejercicios, de manera que le participante pueda visualizar previamente como realizar el ejercicio y, una vez seguro, ejecutarlo esperando recibir retroalimentación por audio.

6.1.4 De la evaluación en el CRIT

Se evaluó la interacción del sistema con usuarios finales en el CRIT - Tijuana. Dentro de los parámetros que se evaluaron tenemos: la percepción del participante sobre el uso de la tecnología en la fisioterapia; funcionalidades de la aplicación; la interacción con la interfaz; los beneficios del uso de la aplicación en la terapia física; y el modo de retroalimentación. De estas evaluaciones, se encontró que los padres ven un gran beneficio en usar una tecnología que ofrezca retroalimentación en tiempo real para poder corregir la postura de los movimientos, destacando que los padres consideran la app propuesta (SAFI) como sencilla de utilizar.

De todo el proceso de desarrollo e implementaciones efectuadas en la investigación de este trabajo, podemos concluir que se cumplieron los objetivos del mismo. Se investigó al usuario para conocer su entorno y de acuerdo a ello se diseñó una interfaz adecuada para el sistema de sensores inerciales para el apoyo de fisioterapia en infantes, validando su utilidad en la rehabilitación infantil.

6.2 Aportaciones

Se ha creado un convenio de colaboración entre CICESE y el CRIT de Tijuana, Baja California, México. Este convenio permitirá seguir realizando evaluaciones y pruebas del sistema en desarrollo, así como otros proyectos relacionados al cuidado de la salud física. En especial para personas con discapacidad. Este acuerdo representa un paso significativo hacia el fortalecimiento de la investigación y tratamiento en el ámbito de la rehabilitación, lo cual creará beneficios para la sociedad contribuyendo el conocimiento en este campo.

Se generó información valiosa respecto a cómo los padres o cuidadores de infantes con discapacidad realizan fisioterapia en el centro de rehabilitación, conociendo de esta manera las carencias y necesidades que requieren ser atendidas. En especial las características de diseño que se ha mencionado en este trabajo de investigación para proveer herramientas que permitan una interacción adecuada entre el usuario y el sistema.

Se identificaron y obtuvieron las características necesarias para implementar una interfaz que ofreciera retroalimentación a los padres de familia cuando realizan ejercicios de fisioterapia en infantes. Estas características fueron refinadas en colaboración con los padres mediante el desarrollo de un grupo focal, lo que aseguró que la interfaz respondiera de manera efectiva a las necesidades y expectativas.

Se desarrolló un esquema de semaforización de tipo audiovisual para ofrecer retroalimentación adecuada a los padres de familia durante la utilización del sistema de sensores inerciales en la realización de fisioterapia en infantes.

Se implementó y evaluó una interfaz para un sistema de sensores inerciales para el apoyo de fisioterapia en infantes, validando la funcionalidad de retroalimentación audiovisual propuesta. Estos resultados constituyen un paso importante en el desarrollo de un sistema de apoyo para realización de fisioterapia en infantes en casa, proporcionando una base sólida para futuras mejoras y avances en el desarrollo de la tecnología que será aplicada para este fin.

6.3 Trabajo a futuro

El uso de la tecnología como herramienta de apoyo en la fisioterapia es fundamental para brindar mayor seguridad a los usuarios que realizan fisioterapia con infantes desde sus hogares. Después de obtener las características necesarias para la implementación y evaluación de una interfaz mediante el desarrollo de una aplicación móvil para un sistema de sensores inerciales, se identificaron áreas clave para futuras investigaciones y desarrollos:

Implementación de esquemas de ayuda en la aplicación móvil. Dado que los usuarios expresaron la necesidad de contar con información detallada sobre la ejecución de diferentes tipos de ejercicios de fisioterapia, se recomienda la implementación de varios esquemas de ayuda en la aplicación móvil. Esto

puede incluir tutoriales interactivos, enlaces o recursos en línea y consejos visuales antes, durante y después de realizar los ejercicios utilizando el sistema propuesto.

Selección de audio adecuado. Es importante considerar cuidadosamente el tipo de audio que se utilizará en las futuras implementaciones en la aplicación. Se sugiere realizar evaluaciones exhaustivas utilizando diferentes tipos de audio para la retroalimentación del sistema, con el fin de identificar el más adecuado que no genere estrés al usuario.

Implementación de un esquema para obtener los grados de movilidad. Una posible línea de investigación prometedora consiste en desarrollar un esquema que permita obtener los grados de movilidad de las extremidades durante la realización de ejercicios de fisioterapia. Esta funcionalidad proporcionaría datos más precisos sobre el progreso del infante, lo que facilitaría la personalización y adaptación de los programas de terapia física según las necesidades de cada infante.

Literatura citada

- Abrishami, M. S., Nocera, L., Mert, M., Trujillo-Priego, I. A., Purushotham, S., Shahabi, C., & Smith, B. A. (2019). Identification of developmental delay in infants using wearable sensors: Full-day leg movement statistical feature analysis. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 7. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2019.2893223>
- Airaksinen, M., Räsänen, O., Ilén, E., Häyrynen, T., Kivi, A., Marchi, V., Gallen, A., Blom, S., Varhe, A., Kaartinen, N., Haataja, L., & Vanhatalo, S. (2020). Automatic Posture and Movement Tracking of Infants with Wearable Movement Sensors. *10*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56862-5>
- Argent, R., Slevin, P., Bevilacqua, A., Neligan, M., Daly, A., & Caulfield, B. (2019). Wearable Sensor-Based Exercise Biofeedback for Orthopaedic Rehabilitation: A Mixed Methods User Evaluation of a Prototype System, *19*(2), 432. <https://doi.org/10.3390/S19020432>
- Brooke, J. (1995). *SUS: A quick and dirty usability scale*. 189-194 <https://www.researchgate.net/publication/228593520>
- Burns W., J., Holzblatt, K., & Wood, S. (2004). Rapid contextual design: A how-to guide to key techniques for user-centered design. Elsevier, San Francisco, CA. <https://shop.elsevier.com/books/rapid-contextual-design/holzblatt/978-0-12-354051-5>
- Calderita, L. V., Bustos, P., Suárez Mejías, C., Fernández, F., Viciano, R., & Bandera, A. (2015). Asistente robótico socialmente interactivo para terapias de rehabilitación motriz con pacientes de pediatría. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 12(1), 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.09.007>
- Castro P., M. A. (2023). Sistema de redes de sensores e inteligencia artificial para la evaluación objetiva de movimientos de fisioterapia en infantes. [Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. Tesis en resguardo.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021). *Estadísticas a propósito del día internacional de las personas con discapacidad*. [datos nacionales. chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/https://inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_PersDiscap21.pdf](https://inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_PersDiscap21.pdf)
- Instituto de salud para el bienestar. (2022). *Día Mundial de la Parálisis Cerebral*. <https://www.gob.mx/insabi/es/articulos/dia-mundial-de-la-paralisis-cerebral-06-de-octubre?idiom=es>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2023). Encuesta nacional para el sistema de cuidados (ENASIC) 2022 https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/ENASIC/ENASIC_23.pdf
- Ferre-Fernández, M., Murcia-González, M. A., & Ríos-Díaz, J. (2020). Translation and cross-cultural adaptation of the Gross Motor Function Measure to the Spanish population of children with

cerebral palsy. *Revista de Neurologia*, 71(5), 177–185.
<https://doi.org/10.33588/RN.7105.2020087>

Gu, C., Lin, W., He, X., Zhang, L., & Zhang, M. (2023). IMU-based motion capture system for rehabilitation applications: A systematic review. In *Biomimetic Intelligence and Robotics*, 3(2). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.birob.2023.100097>

The Washington Group on Disability Statistics. (s.f.). <https://www.washingtongroup-disability.com/>

OMS (Organización Mundial de la Salud & Banco Mundial). (2011). *Informe mundial sobre la discapacidad 2011*. <https://iris.who.int/handle/10665/75356>

Jiang, Yizhou and Qin, Yajie and Kim, IkHwan and Wang, & Yuanyuan. (2017). Towards an IoT-based upper limb rehabilitation assessment system. *2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2414–2417.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8037343>

López de Suso Martínez de Aguirre, D., & Martino-Alba, R. (2021). The challenge of comprehensive care for patients with cerebral palsy. *Anales de Pediatría*, 94(5), 275–277.
<https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2021.02.002>

Mackintosh, K. A., Chappel, S. E., Salmon, J., Timperio, A., Ball, K., Brown, H., Macfarlane, S., & Ridgers, N. D. (2019). Parental Perspectives of a Wearable Activity Tracker for Children Younger Than 13 Years: Acceptability and Usability Study. *JMIR Mhealth Uhealth* 2019;7(11).
<https://doi.org/10.2196/13858>

Maher, C., Ryan, J., Ambrosi, C., & Edney, S. (2017). Users experiences of wearable activity trackers: A cross-sectional study. *BMC Public Health*, 17(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S12889-017-4888-1/TABLES/4>

Marín, J., Blanco, T., de la Torre, J., & Marín, J. J. (2020). Gait analysis in a box: A system based on magnetometer-free IMUs or clusters of optical markers with automatic event detection. *Sensors (Switzerland)*, 20(12), 1–27. <https://doi.org/10.3390/S20123338>

Parálisis cerebral: MedlinePlus en español. (2023). <https://medlineplus.gov/spanish/cerebralpalsy.html>

Peake, J. M., Kerr, G., & Sullivan, J. P. (2018). A critical review of consumer wearables, mobile applications, and equipment for providing biofeedback, monitoring stress, and sleep in physically active populations. *Frontiers in Physiology*, 9, 743. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00743>

Preece, J., Rogers, I., & Sharp, H. (2015). *Interaction Design beyond Human-computer interaction*. 3, John Wiley & Sons. <https://www.amazon.com/Interaction-Design-Beyond-Human-Computer/dp/0470665769>

Ricardo, L. I. C., Da Silva, I. C. M., Martins, R. C., Wendt, A., Gonçalves, H., Hallal, P. R. C., & Wehrmeister, F. C. (2018). Protocol for Objective Measurement of Infants' Physical Activity using Accelerometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(5), 1084–1092.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001512>

Rihar, A., Mihelj, M., Pašič, J., Kolar, J., & Munih, M. (2014). Infant trunk posture and arm movement assessment using pressure mattress, inertial and magnetic measurement units (IMUs).

Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-133/TABLES/4>

- Rodríguez Mariblanca, M., & Cano de la Cuerda, R. (2021). Aplicaciones móviles en la parálisis cerebral infantil. *Neurología*, 36(2), 135–148. <https://doi.org/10.1016/J.NRL.2017.09.018>
- Rosales J., M. (2021). Sistema basado en redes de sensores y técnicas de inteligencia artificial en apoyo a fisioterapia en infantes. [Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.]. Tesis en resguardo.
- Rosenbaum, P. L., Palisano, R. J., Bartlett, D. J., Galuppi, B. E., & Russell, D. J. (2008). Development of the Gross Motor Function Classification System for cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50(4), 249–253. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8749.2008.02045.X>
- Royo Sanchis, J. D. (2021). La telemedicina desde el punto de vista del paciente. *Atención Primaria Práctica*, 3. <https://doi.org/10.1016/J.APPR.2021.100118>
- Schlage, N., Kitzig, A., Stockmanns, G., & Naroska, E. (2021). Development of a mobile, cost-effective and easy to use inertial motion capture system for monitoring in rehabilitation applications. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 7(2), 586–589. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2021-2149>
- Sistema Nacional de Protección de Niñas, Niños y Adolescentes. (2018). <https://www.gob.mx/sipinna/es/articulos/la-inclusion-de-ninas-ninos-y-adolescentes-con-discapacidad-es-un-derecho-que-deben-gozar-a-plenitud>
- Sprint, G., Cook, D. J., & Weeks, D. L. (2016). Designing Wearable Sensor-Based Analytics for Quantitative Mobility Assessment. *2016 IEEE International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2016*. <https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP.2016.7501686>
- Tedesco, S., Torre, O. M., Belcastro, M., Torchia, P., Alfieri, D., Khokhlova, L., Komaris, S. D., & O'Flynn, B. (2022). Design of a Multi-Sensors Wearable Platform for Remote Monitoring of Knee Rehabilitation. *IEEE*, 98309–98328. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3204969>
- Trujillo-Priego, I. A., Lane, C. J., Vanderbilt, D. L., Deng, W., Loeb, G. E., Shida, J., & Smith, B. A. (2017). Development of a Wearable Sensor Algorithm to Detect the Quantity and Kinematic Characteristics of Infant Arm Movement Bouts Produced across a Full Day in the Natural Environment. *Technologies 2017*, 5(3), 39. <https://doi.org/10.3390/TECHNOLOGIES5030039>
- Tsilomitrou, O., Gkoutas, K., Evangeliou, N., & Dermatas, E. (2021). *Wireless Motion Capture System for Upper Limb Rehabilitation*. 4(1), 14. <https://doi.org/10.3390/asi4010014>
- Vásquez B., A., & Cáceres, N. (2008). *El abordaje de la discapacidad desde la atención primaria en salud*. Organización Panamericana de la Salud. Buenos Aires, Argentina. chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55561/9789507101113_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yang, C. C., & Hsu, Y. L. (2010). A Review of Accelerometry-Based Wearable Motion Detectors for Physical Activity Monitoring. *Sensors 2010*, 10(8), 7772–7788. <https://doi.org/10.3390/S100807772>

Anexos

Anexo A: Entrevista semi estructurada

Plan de trabajo

Nombre de estudiante: Alfredo Ramírez Velasco.

Nombre del proyecto: Diseño de una interfaz interactiva centrado en el usuario para un sistema de detección de movimientos corporales para el apoyo de fisioterapia en infantes.

Introducción:

El diseño de sistemas tecnológicos centrados en el usuario explora las diferentes necesidades de los usuarios para proporcionar un sistema de fácil uso. El método de la optimización incluye la evaluación de experiencia de uso (antes, en el proceso y después del desarrollo). Especialmente cuando se trata de desarrollar tecnologías enfocadas a la rehabilitación de fisioterapia para niños/a, en ese sentido, es importante conocer como los usuarios llevan a cabo sus actividades en las diferentes sesiones de rehabilitación con sus infantes, para conocer las necesidades primordiales que son la base de sistemas tecnológicos centrados en el usuario. Buscamos en primera instancia conocer a profundidad como el padre o cuidador del niño/a realiza los diferentes ejercicios de fisioterapia, los procedimientos y técnicas que utiliza con el niño/a, las herramientas de las cuales se apoya y si utiliza algún tipo de tecnología como apoyo en sus sesiones de rehabilitación.

Objetivos generales:

Diseñar e implementar una interfaz interactiva centrado en el usuario para un sistema que sirva de apoyo a los padres de familia en sus sesiones de rehabilitación de fisioterapia en infantes, y evaluar el impacto que pueda generar con la experiencia de uso, buscando que tenga una correcta adopción tecnológica.

Objetivos específicos.

-Identificar las necesidades de los padres de familia en el uso de sistemas tecnológicos mediante el desarrollo de un estudio contextual.

-Identificar las características de diseño de una interfaz interactiva apropiada para la retroalimentación a los padres de los infantes.

- Realizar pruebas experimentales con los sensores para la generación de datos de movimiento.
- Desarrollar la interfaz interactiva con los datos obtenidos del estudio contextual.
- Implementar y evaluar el sistema para la obtención de resultados de usabilidad.
- Miembros que trabajarán en el equipo de investigación:

Estudiante: Alfredo Ramírez Velasco, estudiante de maestría en la División de Física Aplicada, encargado de recolectar datos de las entrevistas y las evaluaciones utilizando los sensores de movimiento.

Investigador a cargo del proyecto: Dr. Salvador Reyes Villarreal, Investigador titular dentro del CICESE. Se encargará de coordinar y validar todas las actividades propuestas para llevarlas a cabo en el centro de rehabilitación. Supervisará la información recolectada, los análisis que de estos deriven, así como de los resultados para su aplicación en el objetivo específico.

Estructura:

Para el desarrollo de una interfaz interactiva del sistema de detección de movimientos corporales para la rehabilitación de fisioterapia en infantes se seguirá un modelo de diseño centrado en el usuario, la cual tiene los siguientes puntos:

1. Identificación de necesidades en el uso de sistemas tecnológicos.

La identificación de las necesidades de los padres en el uso de las tecnologías es necesario para poder proporcionar un diseño de interfaz interactivo considerando las tecnologías más utilizadas para que sean esas tecnologías la base donde se pueda mostrar la retroalimentación del sistema. Para ello se han desarrollado dos encuestas, la primera está enfocada al padre de familia, la segunda encuesta es para el fisioterapeuta.

Objetivo de la entrevista:

Conocer como los padres realizan los ejercicios de rehabilitación con sus infantes en casa.

Protocolo de entrevista a padres de familia.**Presentación:**

Buen día, mi nombre es Alfredo Ramírez Velasco, soy estudiante de Maestría del CICESE en el área de Electrónica y Telecomunicaciones. Se está desarrollando un sistema de detección de movimientos corporales para apoyo de fisioterapia en infantes, realizo un estudio para conocer y entender cómo se llevan a cabo los ejercicios de fisioterapia, las diferentes herramientas que son utilizadas y las técnicas usadas para efectuar las sesiones de rehabilitación con el infante. El propósito de la entrevista es conocer como usted como padre de familia o cuidador del niño/a realiza los ejercicios de fisioterapia en casa, si ha utilizado algunos sistemas tecnológicos y herramientas como apoyo en sus sesiones desde casa y los problemas con lo que se ha encontrado relacionados con el uso de ellos. Le comento que es muy importante su apoyo para lograr el objetivo del proyecto.

Información adicional

Toda información que me proporcione será para uso exclusivo del proyecto y todas las respuestas que me brinde serán analizadas de manera anónima. Así mismo usted tiene todo el derecho de terminar la entrevista si así lo desea, así como el negarse a responder preguntas que sean incómodas para usted. Después de la sesión de entrevista se llevará a cabo una actividad con el sistema preliminar que almacena datos de movimientos que realizan los niños en sus actividades de rehabilitación. Cabe mencionar que en la primera actividad que es la encuesta, será grabado en audio para su posterior estudio. Si está de acuerdo le entregare la hoja de consentimiento informado para que lo lea detenidamente, firme de enterado y pasaremos a la primera actividad.

Actividad 1.

Fecha:

Datos del participante:

1. ¿Cuál es su nombre?
2. ¿Cuál es la relación de parentesco con el niño/a?

3. ¿Cómo se llama el niño/a?
4. ¿Cuántos años tiene?

Historial clínico

5. ¿A qué edad se le diagnosticó al niño/a la discapacidad?
6. ¿Qué tipo de discapacidad presenta el niño/a?
7. ¿Cuánta atención requiere el niño/a de acuerdo al padecimiento que presenta?
8. ¿Podría platicarme cuáles son los cuidados que implementa en casa con el niño?

Asistencia con un fisioterapeuta para el aprendizaje de ejercicios

A continuación, le voy a realizar unas preguntas relacionadas con los tipos de ejercicios o actividades que le ha indicado el fisioterapeuta realizar.

9. ¿Qué ejercicios le ha recomendado el fisioterapeuta realizar en casa para el niño/a?
10. ¿Podría describirme cómo le explica el fisioterapeuta los ejercicios a realizar con el niño/a?
11. ¿Cómo evalúa el fisioterapeuta los ejercicios que usted hace en el centro de rehabilitación para determinar si los está haciendo bien?
12. ¿Qué es lo que usted hace para poder entender y recordar cómo se realizan los ejercicios de la fisioterapia?
13. El fisioterapeuta le proporciona alguna herramienta de ayuda como, por ejemplo; ¿Videos, instructivo o algún material de apoyo para la realización de los ejercicios de la fisioterapia en casa?

si

13.1. ¿qué herramienta o material le ha proporcionado el fisioterapeuta?

si son herramientas desconocidas

13.1.1. ¿Pudiera describirme como es la herramienta de ayuda?

13.1.2. ¿Cómo ha utilizado la herramienta en las sesiones de rehabilitación?

13.1.3. ¿Considera una buena herramienta de ayuda cuando los emplea en sus ejercicios?

si son manuales o instructivos

13.1.3.1. ¿Pudiera describirme como es el instructivo o manual?

13.1.3.2. ¿Pudiera describirme como lo ha utilizado en las sesiones de fisioterapia?

13.1.3.3. ¿Considera una buena herramienta el instructivo o manual?

si son dispositivos electronicos

13.1.3.4. ¿Pudiera describirme como es el dispositivo electrónico?

13.1.3.5. ¿Cómo ha utilizado el dispositivo electrónico en las sesiones de fisioterapia?

13.1.3.6. ¿Considera una buena herramienta el uso de dispositivos electrónicos?

si son videos

13.1.3.7. ¿Qué tipo de videos son los que ve para guiarse en las sesiones de fisioterapia?

13.1.3.8. ¿Cómo ha utilizado los videos para las sesiones de fisioterapia?

13.1.3.9. ¿Considera una buena herramienta el uso de videos?

si

13.1.3.10. ¿Cómo cree usted que le ha ayudado esa herramienta en las sesiones de fisioterapia?

13.1.3.11. ¿Pudiera describirme como la herramienta le ha ayudado a entender los ejercicios?

no

13.1.4. ¿Por qué no lo considera una buena herramienta de ayuda?

13.1.5. ¿Qué pudiera usted agregarle para que sea herramienta eficiente?

no

14. ¿A qué cree que se deba a que no se le proporcione esas herramientas para llevar a cabo los ejercicios de fisioterapia?

Uso de sistemas o dispositivos electrónicos

15. ¿Considera una ventaja el utilizar la tecnología en la fisioterapia?

si

15.1.1. ¿Cómo cree que pudiera la tecnología ayudarle en sus sesiones de fisioterapia?

15.1.2. ¿Qué funciones requiere para que cumpla sus funciones de apoyo en la fisioterapia?

15.1.3. ¿Cómo se imagina que pudiera ser la interacción de la tecnología para que le ayude en las sesiones de rehabilitación?

no

15.2. ¿Por qué no lo considera como una ventaja en las sesiones de fisioterapia?

16. ¿Utiliza alguna tecnología como sistema de comunicación o entretenimiento?

si

- 16.1. ¿Podiera describirme que tecnologías utiliza?
- 16.2. ¿Qué tipo de actividades realiza con las tecnologías que me ha mencionado?
- 16.3. En su experiencia ¿Qué tan sencillo le resulta manipular un aparato electrónico?
- no
- 16.4. ¿A qué se debe el que no utilice un sistema de comunicación para el entretenimiento?
- 16.5. ¿Cuáles son los principales problemas o dificultades de no usar una tecnología para el entretenimiento o comunicación?
- 16.6. ¿Qué dificultades ha presentado usted como padre de familia para adquirir una tecnología?

Propuesta de escenario utilizando el sistema de movimientos

Las siguientes preguntas están relacionadas con la propuesta del proyecto de investigación. A continuación, le describiré un escenario utilizando un sistema de detección de movimientos para ofrecer la retroalimentación de los ejercicios de fisioterapia.

Se tiene un par de sensores que detectan los movimientos de los ejercicios de fisioterapia que usted realiza en casa, los sensores son colocados como pulsera tipo reloj en las extremidades que se vayan a trabajar con el niño/a. Estos sensores tienen la capacidad de decirle cuando está realizando un ejercicio de manera adecuada y cuando no lo está haciendo bien. Los sensores envían la información hacia una computadora o teléfono celular que tiene integrado un receptor. Los datos que se envían son mensajes de ejercicios realizados correctamente o incorrectamente. En este escenario no se ha determinado como se le debe presentar la información al usuario que es el terapeuta no experto. Usted como terapeuta no experto ha realizado ejercicios de fisioterapia con el niño/a y sabe que la atención del infante es muy importante debido a diferentes situaciones. Además, considere que la retroalimentación lo obtendrá del dispositivo electrónico con el cual interactúa más, entonces...

17. ¿En qué dispositivo electrónico pudieran los sensores darle la retroalimentación?

18. ¿Cómo cree usted pudiera desplegarse la información para darle la retroalimentación en las sesiones de fisioterapia?

si responde por medio de imágenes

18.1. Si fuera mediante imágenes ¿Cómo pudieran estas imágenes darle la retroalimentación sin que se entorpezca la sesión de fisioterapia con el niño/a?

18.2. ¿Qué funciones le agregaría?

si responde por medio de audio

18.3. ¿Cómo cree usted que debiera el audio darle la retroalimentación?

18.4. ¿Qué funciones le agregaría?

si fuera por algún otro modo o usando otro aparato o herramienta

18.5. ¿Pudiera describirme como cree que el dispositivo utilizado pudiera darle la retroalimentación?

18.6. ¿Qué características le agregaría para hacerlo más sencillo de usar al momento de realizar las sesiones de fisioterapia?

Preguntas relacionadas con la manera de presentar los datos si entre cada ejercicio o al final

19. ¿Cómo cree usted que le es mejor mostrar el resultado con el sistema, al final de cada ejercicio o al finalizar cada sesión le muestra la cantidad de ejercicios mal realizados con respecto a los bien realizados?

19.1. ¿Por qué sería mejor entre cada ejercicio?

19.2. ¿Por qué sería mejor al final de ejercicio?

para finalizar

20. ¿Hay algo que le gustaría agregar a la entrevista? ¿Algún comentario? (comentarios)

Le agradezco el tiempo que me ha regalado para poder llevar a cabo la sesión de entrevista. La información que hemos recopilado es de suma importancia ya que con ello pretendemos diseñar una interfaz interactiva de un sistema de detección de movimientos corporales como herramienta de apoyo para la realización de ejercicios fisioterapéuticos con el infante desde casa.

21. ¿Le gustaría ayudarnos nuevamente en un futuro próximo de ser necesario?

SI

De ser así

21.1. ¿Qué fecha podríamos agendar una nueva cita cuando usted tenga que visitar el CRIT?

Protocolo de entrevista a Fisioterapeutas.

Presentación:

Buen día, mi nombre es Alfredo Ramírez Velasco, soy estudiante de Maestría del CICESE en el área de Electrónica y Telecomunicaciones. Se está desarrollando un sistema de detección de movimientos corporales para apoyo de fisioterapia en infantes, realizo un estudio para conocer y entender cómo se llevan a cabo los ejercicios de fisioterapia y las diferentes herramientas que son utilizadas. El propósito de la entrevista es conocer como usted como especialista dicta los diferentes tipos de ejercicios que deben realizar los padres de familia y además conocer si utiliza alguna herramienta como parte de sus actividades. Le comento que es muy importante su apoyo para lograr el objetivo del proyecto.

Información adicional

Toda información que me proporcione será para uso exclusivo del proyecto y todas las respuestas que me brinde serán analizadas de manera anónima. Así mismo usted tiene todo el derecho de terminar la entrevista si así lo desea, así como el negarse a responder preguntas que para usted sienta incomodo. Cabe mencionar que la encuesta será grabada en audio para su posterior estudio. Si está de acuerdo podemos comenzar con la entrevista

Datos del fisioterapeuta:

1. ¿Cuál es nombre?
2. ¿Cuál es su formación académica profesional?

Campo formativo

A continuación, le hare unas preguntas relacionadas con las actividades que desempeña en el centro de rehabilitación

3. ¿Podiera describirme que actividades desempeña en la institución?
4. Actualmente ¿A cuántos pacientes atiende por día?
5. Y en promedio ¿A cuántos pacientes atiende por semana?
6. ¿Qué tipo de discapacidad se presenta más en los pacientes que atiende?
7. ¿Cómo afecta esas discapacidades en el desarrollo neuro físico de los infantes?

Atención a pacientes y enseñanza de ejercicios

Ahora realizare unas preguntas relacionadas en la manera de cómo lleva a cabo una sesión de fisioterapia.

8. ¿Podiera describirme como es el proceso para atender a sus pacientes para la valoración de la discapacidad motora?
9. ¿Cuáles son los tipos de ejercicios más comunes para la fisioterapia en niños/a?
10. ¿Cómo le explica al padre de familia la manera en cómo realizar los ejercicios?
11. ¿Cómo determina la frecuencia con la cual se deben de realizar las sesiones de fisioterapia?

12. En su experiencia ¿Los padres o cuidadores del niño/a entienden rápidamente como se llevan a cabo cada tipo de ejercicios que les muestra?

si

12.1 ¿Cómo evalúa a los padres o cuidadores de los niño/as para saber si han entendido como se hacen los ejercicios?

no

13. ¿Qué tipo de acciones toma para hacer que los padres de familia entiendan como se debe de realizar cada ejercicio?

14. ¿Existe casos en los cuales los padres de familia no logran entender fácilmente cómo se lleva a cabo cada ejercicio?

si

14.1 ¿Cuántas veces le ha sido necesario repetir los procedimientos de cada ejercicio para que el padre o cuidador del niño/a los recuerde?

14.2 ¿Utiliza algún tipo de herramienta como apoyo para lograr un correcto entendimiento de los diferentes tipos de ejercicios que deben realizar los padres o cuidadores de los niño/as?

si

14.2.1 ¿Pudiera describirme como es la herramienta que utiliza?

14.2.2 ¿Qué ventajas existe al poder utilizarlo para que los padres o cuidadores de los niños/a entiendan de la mejor manera en cómo se llevan a cabo los ejercicios?

14.2.3 ¿Cómo cree usted que esas ventajas puedan transferirse a una interfaz de un sistema de detección de movimientos?

no

14.3 ¿Existen o conoce herramientas que sirvan de apoyo en las sesiones de fisioterapia?

si

14.3.1 ¿Pudiera describirme cómo son?

14.3.2 ¿Cómo los implementa en la rehabilitación de fisioterapia?

no

15. En su experiencia ¿Qué ha notado que hacen los padres o cuidadores para lograr entender de manera adecuada la ejecución de cada ejercicio?

Uso de tecnologías

Ahora hare unas preguntas relacionadas con el uso de tecnologías

16. ¿Utiliza alguna tecnología para mostrar cómo se lleva a cabo cada ejercicio?

si

16.1 ¿Pudiera describirme que tecnologías utiliza?

16.2 ¿Qué tipo de funciones realizan?

16.3 ¿Los padres o cuidadores de los niños/as replican el uso de la tecnología en casa?

si

16.3.1 ¿Qué tipo comentarios ha recibido por parte de los padres al replicar las sesiones de fisioterapia usando tecnologías como herramientas?

16.3.2 ¿Qué ventajas hay al trabajar en la rehabilitación haciendo uso de las tecnologías?

16.3.3 ¿Qué desventajas ha notado cuando las utilizan?

no

16.4 ¿A que le atribuye el no implementar el uso de las tecnologías?

no

17. ¿Por qué no se utiliza la tecnología como herramienta de apoyo para la enseñanza de los ejercicios o actividades?

18. En su experiencia con los padres de familia ¿Cree que los padres pudieran realizar de la mejor manera sus ejercicios de fisioterapia en casa si se les apoyara con un sistema de retroalimentación que les dicte cuando están haciendo de manera adecuada los ejercicios?

si

18.1 ¿Qué características debería tener este sistema para que el padre de familia pueda realizar los ejercicios sin que descuide al niño/a?

18.2 ¿Qué funciones consideraría que se le pudiera agregar?

18.3 ¿Cómo cree usted que pudiera darle el sistema la retroalimentación al padre del niño/a?

18.4 ¿Cómo debería ser utilizado por el padre de familia?

no

19. ¿Por qué no?

Retroalimentación de los ejercicios instruidos a realizarse en casa

Ahora le realizare algunas preguntas relacionadas a los padres de familia cuando tienen que realizar los ejercicios en casa

20. Cuando los padres de familia realizan ejercicios en casa y tienen dudas de los ejercicios ¿Se comunican por un medio? O ¿El centro de rehabilitación proporciona un medio digital para el apoyo a los padres de familia?

si

17.1 ¿Pudiera describirme como es esa interacción o método de comunicación?

no

21. ¿Los padres de familia esperan hasta la próxima cita para preguntar sus dudas?

SI

18.1 ¿Cómo esto afecta a una correcta rehabilitación del niño/a o en su defecto a mejorar la movilidad corporal?

19 ¿Existe un programa especial con la temática “PROGRAMA EN CASA” enfocado a resolver dudas respecto a los diferentes procedimientos o indicaciones que los padres o cuidadores de los niño/as deben de acatar?

si

19.1 ¿Cómo se imparte?

19.2 ¿Cómo se determina que el programa da buenos resultados?

no

20 ¿Por qué no?

Uso de la tecnología como medio de comunicación

Hare unas preguntas relacionadas con el uso de dispositivos móviles.

21. En su experiencia con los padres ¿Considera que todos ellos utilizan un dispositivo móvil?

si

21.1 ¿Alguno de ellos hace uso de los celulares inteligentes para llevar a cabo los ejercicios de rehabilitación?

si

21.1.1 ¿Conoce algún tipo de aplicación móvil que pueda ser utilizado para las sesiones de rehabilitación?

si

21.1.2 ¿Podiera describirme las características que la aplicación provee?

22. Para finalizar con la entrevista ¿Hay algo que quiera agregar?

Cierre de entrevista

Le agradezco el tiempo que me ha regalado para poder llevar a cabo la sesión de entrevista. La información que hemos recopilado es de suma importancia ya que con ello pretendemos diseñar una interfaz interactiva de un sistema de detección de movimientos corporales como herramienta de apoyo para la realización de ejercicios fisioterapéuticos con el infante desde casa.

Actividad 2.

1. Pruebas experimentales utilizando los sensores de movimiento.

Después de realizar la entrevista a los padres de familia se continuará con la actividad 2 que consiste en lo siguiente:

1. Se le colocará al niño/a dos sensores de movimiento en las extremidades inferiores. El primer sensor deberá ser colocado en la pierna en posición latera hacia afuera, el segundo sensor deberá ser colocado en la espinilla.

2. Se le pedirá al fisioterapeuta o padre de familia realizar los siguientes ejercicios con el niño/a

-Aducción-abducción de cadera.

-Flexión-Extensión de cadera.

-Flexión-Extensión de rodilla.

Cada ejercicio deberá ser realizado con una serie de entre 5-10 ejecuciones correctas y otras 5-10 ejecuciones incorrectas.

3. Los datos serán almacenados para posteriormente analizarlos y generar una base de datos para mejorar el sistema de detección de movimientos. Los datos obtenidos son específicamente de dos sensores integrados en el sistema. Un acelerómetro y un giróscopo que sirven para determinar la posición y velocidad de un cuerpo en movimiento.

4. La duración de estas actividades será en promedio de 15-25 minutos.

5. El lugar en donde se realizarán las pruebas deberá ser acorde a lo que el fisioterapeuta indique, solo se requerirá de un mobiliario para colocar una laptop y una fuente de energía para que se pueda conectar dicho equipo.

Las actividades aquí expuestas serán llevadas a cabo con el mayor número de participantes posibles. Se considera la participación de niños e infantes de una edad entre 1 a 12 años, que presenten una discapacidad de movilidad sin importar el grado. Recalcando que las sesiones de entrevista serán grabados y las sesiones en donde se tenga que utilizar los sensores serán videograbados con previo consentimiento por parte de los padres de familia. En todo momento la identidad de los participantes será protegida y la información audiovisual que se recolecte es solo con fines de análisis de datos. En caso de se tomen fotografías la identidad de los participantes no será revelada.

Anexo B: Consentimiento informado

Consentimiento Informado

Yo _____ padre y/o tutor de _____, declaro que he sido informado y aceptado la participación de _____ y mi participación en las actividades que son: la entrevista como primera actividad y en la captura de ejercicios de fisioterapia mediante sensores inerciales como segunda actividad, en el desarrollo de las actividades será registrado mediante la grabación de video-audio con pleno conocimiento de que la información capturada será usada para el desarrollo del proyecto de tesis "Evaluación de Calidad de Experiencia (QoE) de un sistema de detección de movimientos corporales para apoyo de fisioterapia en infantes" llevado a cabo en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE).

Me han explicado que los nombres de los participantes serán cambiados a un número de serie con el fin de mantener el anonimato la identidad del participante. Y estoy en conocimiento que los datos no me serán entregados y no habrá retribución de ningún tipo por la participación. Asimismo, sé que el proceso de captura no forma parte ni afecta negativamente el tratamiento que se llevaría a cabo normalmente, y puedo negar o detener la participación en cualquier momento, sin expresión de causa ni consecuencias negativas para mí.

Firma del padre y/o tutor del participante

Fecha:

Anexo C: Grupo focal

Focus Group

Objetivo: Analizar y evaluar el conjunto de funcionalidades necesarios para la implementación de una aplicación móvil de un sistema de sensores de movimiento para la realización de terapia física infantil.

Objetivos específicos:

Identificar el impacto que tiene el uso de aplicaciones móviles en la realización de fisioterapia infantil.

Identificar los posibles problemas que pueden surgir durante el uso del sistema.

Evaluar los requerimientos de retroalimentación obtenidos de un estudio contextual para identificar alternativas de diseño y proponer cambios del prototipo.

Preguntas del experimento:

¿Cuál es la forma más eficiente de ofrecer retroalimentación a los usuarios cuando utilizan una aplicación móvil como herramienta de apoyo en la realización de fisioterapia infantil?

¿Qué inconvenientes pueden surgir en la utilización de una aplicación móvil en la rehabilitación infantil?

¿Cuáles son los requerimientos adecuados para poder ser usados como herramientas de apoyo en la realización de fisioterapia infantil?

Desarrollo de actividades:

Explicación, evaluación del prototipo, discusión del prototipo e implementación de cuestionario.

presentación y objetivo del Focus Group.

Mi nombre es Alfredo Ramírez Velasco estudiante de maestría con especialidad en electrónica y telecomunicaciones, el proyecto de investigación está enfocado en la obtención de los requerimientos de uso necesarios para la implementación de un sistema de detección de movimientos corporales para el apoyo a padres en sesiones de fisioterapia en infantes. El objetivo de este trabajo grupal es el explorar áreas de oportunidad para definir los requerimientos a implementar de sistema en desarrollo para que

ofrezca una retroalimentación eficaz al usuario, además del impacto que el sistema pueda generar al poder servir como una herramienta de apoyo en la rehabilitación infantil.

Para ello se le agradecería que durante el desarrollo de la actividad usted se sienta con el derecho de:

- Preguntar en el momento que desee.
- Proporcionar ejemplos basados en su experiencia.
- Ser creativo.
- Las críticas son bienvenidas.
- Puede proponer cambios al sistema propuesto.
- Ser honesto con las cosas que no le gusten.

Preguntas de discusión:

Uso del sistema

1. ¿Cuál es su opinión acerca de los sensores y la aplicación móvil presentados para ser usados como herramientas de rehabilitación?

Funciones

2. ¿Qué funcionalidades le quitaría al sistema propuesto y cuáles son las razones?
3. ¿Qué funcionalidades agregaría al sistema?

Interacción

4. ¿Qué cambios realizaría de la interacción para cuando el sistema ofrezca la retroalimentación?
5. ¿El modo de interacción le resulta útil al momento de realizar los ejercicios de fisioterapia con el infante?

5.1 ¿Cuáles cree que son los beneficios de las funciones que presenta el sistema?

6. ¿Hubo algún tipo de información que se mostró del cual no tuviera conocimiento?

7. ¿Encontró una similitud de la aplicación con respecto a las que utiliza?

si

7.1. ¿Cuáles son las similitudes con las otras aplicaciones que ha usado?

7.2. ¿Qué pudiera retomar de esas aplicaciones para ser implementadas en la aplicación?

no

8. ¿Pudiera mencionarme como el sistema pudiera impactar de manera positiva en sus actividades de rehabilitación?

9. ¿Pudiera mencionarme como el sistema pudiera impactar de manera negativa en sus actividades de rehabilitación?

10. ¿Me podría mencionar un ejemplo de cómo la retroalimentación por audio impactaría de manera positiva en la rehabilitación infantil?

11. ¿Me podría mencionar un ejemplo de cómo la retroalimentación por imágenes impactaría de manera positiva en la rehabilitación infantil?

12. ¿Cómo cree que sería mejor la retroalimentación entre cada ejercicio o al finalizar una serie de ejercicios?

13. Comentarios.

Anexo D: Escala de usabilidad del sistema

Información general

Nombre: _____

Edad: _____

Género: F M

Profesión: _____

Instrucciones: De acuerdo al sistema de retroalimentación presentado, seleccione que tan de acuerdo esta con las siguientes afirmaciones.

Tabla 4. Escala de usabilidad utilizado para evaluar la interfaz de la app SAFI.

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Muy de acuerdo
Pienso que me gustaría usar este sistema frecuentemente					
Encontré el sistema innecesariamente complejo					
Pienso que el sistema fue fácil de usar					
Pienso que necesitaría el apoyo de una persona técnica para usar el sistema					
Encontré las diferentes funciones del sistema bien integradas					
Pienso que hubo demasiada inconsistencia en el sistema					
Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar el sistema rápidamente					
Encontré el sistema muy incómodo de usar					
Me sentí muy confiado usando el sistema					
Necesito aprender muchas cosas antes de poder usar el sistema					